



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

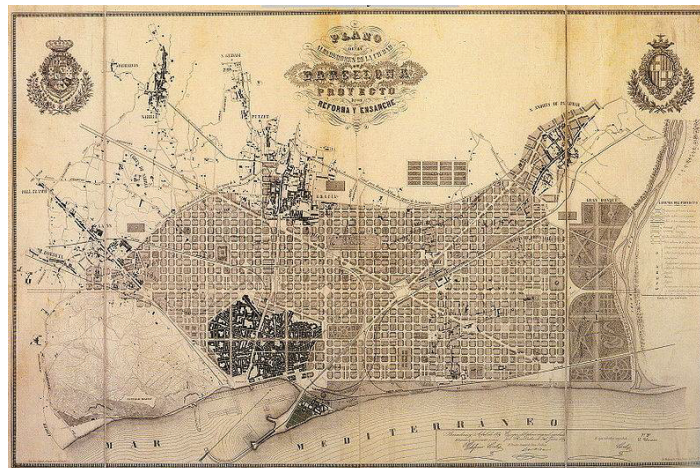
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROYECTO FINAL DE CARRERA (706-TRE-OP-5840)

Titulo

**ANÁLISIS DE LAS PAREDES DE CARGA DE UN EDIFICIO DEL
ENSANCHE DE BARCELONA**

DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA



Autor

JAVIER ARAGÓN ADARVE

Tutores

LUCA PELÀ

Fecha

ENERO 2013

Abstract

Title: Analysis of the walls of load of a building of the Widening of Barcelona.

Author: Javier Aragón Adarve

Tutor: Luca Pelà

The neighborhood of the Eixample was the solution to the problems of density in the city of Barcelona during the first half of the 19th century. The design carried out by Ildefons Cerda and constructed between 1860 and 1950 it was modified by the later architects and builders.

The Eixample is in the central part of the city and has a surface of 7,46 Km². It is the district most filled with the city with approximately 260.000 inhabitants, representing 18 % of the population of the city. This district has the second major density of population of Spain.

In the structural area, almost 70 % of the buildings of the Eixample has a structural system that consists of walls of not reinforced masonry. The floors are of ceramics with girders of steel or wood. These structures were designed for the most part to support vertical loads.

The methods used in this study have been extracted from the Código Técnico de la Edificación. This regulation is developed for the design of new buildings and therefore it is very strict with the behavior of the materials. For this motive other parameters have been used as that of the Norme tecnica per le Costruzioni . This norm goes deeply more into the characteristics of the materials of existing constructions.

With the results I extracted it is possible to affirm that the buildings of not reinforced masonry the Eixample have met submitted to a lot of effort due to the modifications developed in the time and his great slenderness in interior walls. In spite of this major effort it is possible to conclude that the structures are sure though it would be necessary to act in the most problematic cloths to avoid possible difficulties.

It is important to highlight that the methods applied in this study have been strict enough and contribute a few results that stay very of the side of the safety, which allows us to conclude that the existing structures might be employed with a minor stress to the obtained one at this study.

Resumen

Título: Análisis de las paredes de carga de un edificio del Ensanche de Barcelona.

Autor: Javier Aragón Adarve

Tutor: Luca Pelà

El barrio del Eixample fue la solución a los problemas de densidad en la ciudad de Barcelona durante la primera mitad del siglo XIX. El diseño llevado a cabo por Ildefons Cerdà y construido entre 1860 y 1950 fue modificado por los posteriores arquitectos y constructores.

El ensanche se sitúa en la parte central de la ciudad y dispone de una superficie de 7,46 Km². Es el distrito más poblado de la ciudad con unos 260.000 habitantes, representando el 18% de la población de la ciudad. Este distrito posee la segunda mayor densidad de población de España.

En el ámbito estructural, casi el 70 % de los edificios del Ensanche tienen un sistema estructural que consta de muros de mampostería no reforzada. Los forjados son de cerámica con vigas de acero o madera. Estas estructuras fueron diseñadas mayoritariamente para soportar cargas verticales.

Los métodos utilizados en este estudio han sido extraídos del Código técnico de la edificación. Esta normativa está desarrollada para el diseño de nuevos edificios y por tanto es muy estricta con el comportamiento de los materiales. Por este motivo han sido utilizados otros parámetros como el de la Norma tecnica per le Costruzioni italiana. Esta norma ahonda más en las características de los materiales de construcciones existentes.

Con los resultados arrojados se puede afirmar que los edificios de mampostería no reforzada del Eixample se han visto sometidos a mucho esfuerzo debido a las modificaciones desarrolladas en el tiempo y a su gran esbeltez en muros interiores. Pese a este mayor esfuerzo se puede concluir que las estructuras son seguras aunque habría que actuar en los paños más problemáticos para evitar posibles dificultades.

Es importante resaltar que los métodos aplicados en este estudio han sido bastante estrictos y aportan unos resultados que quedan muy del lado de la seguridad, lo que nos permite concluir que las estructuras existentes podrían trabajar con un estrés menor al obtenido en este estudio.

ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción y objetivos.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Metodología	3
1.3. Objetivos.....	4
Capítulo 2. Estado del conocimiento	5
2.1. Introducción	5
2.1.1. La obra de fábrica	5
2.1.2. Propiedades técnicas del ladrillo	6
2.1.3. Aplicaciones de los ladrillos en la construcción actual.....	8
2.2. Evolucion de la obra de fábrica en el tiempo.....	9
2.2.1. Orígenes	9
2.2.2. Mesopotamia, la India y Egipto	10
2.2.3. Ladrillos en Roma	11
2.2.4. La edad media y la edad moderna	11
2.2.5. Actualidad	12
2.3. Normativas vigentes.....	13
Capítulo 3. Contexto	14
3.1. Introducción	14
3.2. Barcelona antes del ensanche	14
3.3. Proyecto del ensanche.....	17

Capítulo 4. Estado del edificio	19
4.1. Introducción	19
4.2. Geometría	20
4.3. Procesos y elementos constructivos	22
4.3.1. Procesos	22
4.3.1.1. Obra de Fábrica	22
4.3.1.2. Mampostería ordinaria.....	23
4.3.1.3. Construcción con sillares.....	23
4.3.1.4. Construcción con ladrillo plano.....	24
4.3.2. Elementos constructivos	25
4.3.2.1. Muros de fachada.....	25
4.3.2.2. Muros de interiores.....	25
4.3.2.3. Los forjados.....	26
4.4. Materiales utilizados.....	27
4.4.1. El mortero	27
4.4.2. La cerámica.....	28
Capítulo 5. Cálculos y resultado.....	29
5.1. Normativa aplicada	29
5.2. Criterios y solicitaciones.....	30
5.3. Propiedades de los materiales	31
5.4. Cargas	34
5.5. Cálculos previos.....	36
A) Definir la dirección de carga de los forjados unidireccionales	37
B) Dividir los muros en paños portantes.....	38

C) Definir las áreas de forjado que apoyan sobre cada paño portante	39
D) Calculo de las cargas parciales y totales en cada sección de pared.....	40
E) Calculo final de las presiones en cada paño del muro	47
5.6. Cálculos resistentes	53
5.6.1 Introducción	53
5.6.2. Calculo del momento en el nudo	55
5.6.3. Primera comprobación de capacidad portante	58
5.6.4. Segunda comprobación de capacidad portante.....	59
5.6.5. Tabla de cálculo utilizada para los cálculos del trabajo	68
5.7. Resultados.....	69
5.7.1. Resultados de planta primera.....	70
5.7.2 Gráficos de resultados en planta primera.....	74
5.7.3 Resultados en todas las plantas.....	77
5.7.4 Arriostramientos	80
Capítulo 6. Conclusiones	81
6.1. Análisis de resultados	81
6.2. Actuaciones recomendadas	84
6.3. Conclusión final.....	86
Capítulo 7. Bibliografía.....	89
Anexo 1.	90
1. Notación	91
2. Cálculos con resistencia de la fábrica de 2,95MPa	92
2.1. Muros de planta primera	92

Índice de Figuras

Figura 1.1: Fachada típica de un conjunto de edificios del Eixample	2
Figura 2.1: Partes del ladrillo	7
Figura 2.2.1: Ladrillos de adobe secándose a la intemperie.....	9
Figura 2.2.2: Pared de pirámide egipcia.....	10
Figura 2.2.3 :Termas de Carcalla, de ladrillo y hormigón	11
Figura 2.2.4: Edificio plurifamiliar con estructura de hormigón y cerramientos de fábrica.....	12
Figura 2.3.1: Eurocodigo 6 y Código técnico de la edificación	13
Figura 3.2.1: Ciudad de Barcelona siglo XVIII.....	14
Figura 3.3.1: Plano de proyecto de Cerdà.....	17
Figura 3.3.2: Típica composición de manzana del Ensanche.....	18
Figura 4.2.2: Simulación 3D de el edificio de estudio (Potter, C. 2011).....	20
Figura 4.2.1: Planta tipo del edificio estudiado	21
Figura 4.3.1.1: Muro portante de obra de fábrica	22
Figura 4.3.1.3: Construcción con sillares	23
Figura 4.3.1.3: Forjado con arcos ejecutados con ladrillos planos	24
Figura 4.3.2.3: Detalle constructivo de un forjado con vigueta de acero y arco cerámico.....	26
Figura 4.4.1: Cal en terrón	27
Figura 5.1.1: Ejemplo de pared sometida a pandeo.....	30

Figura 5.3.1: Datos extraídos de Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras de mampostería no reforzada. Aplicación a un edificio de la zona del Eixample en Barcelona (España). (Bonett et al. 2003)	31
Figura 5.3.2: Tabla C8A.2.1 del Código italiano NTC DM 14-01-08	31
Figura 5.5.1: Direcciones de carga de los forjados en planta tipo	37
Figura 5.5.2: Muros de planta tipo dividido en paños portantes	38
Figura 5.5.3: Plano de planta tipo con áreas de carga y pared sobre la que apoya.....	39
Figura 5.5.12: Esquema de tensiones aplicadas en el paño numero 30 a lo largo de su altura.....	47
Figura 5.6.1: Muro seleccionado para el ejemplo de cálculo	54
Figura 5.6.2.1: Grafico de resultados planta primera, Fd 1,8 MPa	74
Figura 5.6.2.2: Grafico de resultados planta primera, Fd 2,37 MPa	75
Figura 5.6.2.3: Grafico de resultados planta primera, Fd 2,95 MPa	76
Figura 5.6.4.1: Muro 25de planta primera y Fd 1,80 MPa sin arriostrar.....	80
Figura 5.6.4.2: Muro 25de planta primera y Fd 1,80 MPa arriostrado	80

Índice de Tablas

Tabla 5.5.4. Tabla de características de cada muro.....	40
Tabla 5.5.5. Tabla de cálculo de superficie no portante en cada paño	41
Tabla 5.5.6. Tabla de cálculo de superficie portante en cada paño.....	42
Tabla 5.5.7. Tabla de carga en Newtons en cada paño de pared de planta tipo	43
Tabla 5.5.8. Tabla de carga de las secciones de barandilla de cubierta	44
Tabla 5.5.9. Tabla de carga de los paños de pared desde planta	44
Tabla 5.5.10. Tabla de carga por sección de forjado de planta tipo y de cubierta ...	45
Tabla 5.5.11. Tabla de carga total en cada paño	46
Tabla 5.5.13. Tabla de Cargas totales y tensiones máximas en Planta primera.....	48
Tabla 5.5.14. Tabla de cargas totales y tensiones en los muros de planta baja	49
Tabla 5.5.15. Tabla de cálculo de sección portante en muro de planta baja	50
Tabla 5.5.16. Tabla de cálculo de cargas y tensiones en muros de planta baja	51
Tabla 5.5.17. Tabla de comparativa de tensiones entre planta baja y planta primera	52
Tabla 5.6.1.1 Tabla de factores de seguridad planta primera y F_d 1,80MPa.....	70
Tabla 5.6.1.2. Tabla de factores de seguridad planta primera y F_d 2,37MPa.....	71
Tabla 5.6.1.3. Tabla de factores de seguridad planta primera y F_d 2,95 MPa.....	72
Tabla 5.6.1.4 Tabla de comparación de FS entre resistencias en planta 1	73
Tabla 5.6.3.1 Tabla de FS en todo el edificio con $F_d = 1,8$ MPa	77
Tabla 5.6.3.2 Tabla de FS en todo el edificio con $F_d = 2,37$ MPa	78
Tabla 5.6.3.3 Tabla de FS en todo el edificio con $F_d = 2,95$ MPa	79

Capítulo 1. Introducción y objetivos.

1.1. Introducción

Durante la primera mitad del Siglo XIX en pleno auge de la Revolución Industrial, las ciudades que hasta entonces continuaban teniendo un urbanismo medieval, muchas de ellas rodeadas de murallas, se ven colapsadas por la instalación de las recién nacidas industrias y la expansión demográfica.

La ciudad de Barcelona, al igual que muchas otras ciudades europeas, no es ajena a esta situación, pero en su caso, las propias murallas, la situación política y el hecho de que todos los terrenos exteriores a la muralla se considerasen zona militar, impiden que se puedan instalar en sus alrededores las nuevas industrias debido a la prohibición de construir en ese gran espacio llano, teniendo un uso exclusivamente agrícola por parte de los payeses (campesinos) de Barcelona y las poblaciones cercanas.

La expansión demográfica y las industrias se trasladan a zonas que en la época eran municipios independientes, hoy barrios de la ciudad, tales como: Sants, Sarrià, Gràcia, Sant Andreu o Sant Martí.

La necesidad de comunicarse con estas poblaciones da origen a una serie de vías que hoy siguen formando parte del entramado urbano. Entre ellas es claramente reconocible el actual Paseo de Gracia que comunica Barcelona con Gracia y que durante esa época constituyó, no sólo una vía de comunicación, sino un verdadero lugar de encuentro, paseo y esparcimiento, creándose a los lados de la vía jardines y zonas de recreo utilizadas tanto por los habitantes de Barcelona como por los de Gracia, llegando a existir una línea regular de transporte de viajeros en carruajes de caballos, precursora de las actuales líneas de autobuses.

La apremiante necesidad de expansión y la existencia de un corto periodo de gobierno progresista da lugar a la demolición de las murallas, quedando con ello abierto el camino que llevaría a la Barcelona actual.

Puesto que muchos de estos edificios son de finales de 1800 o principios de 1900 sus estructuras no están sometidas a las estrictas normativas estructurales de la actualidad. El afán de negocio de muchos constructores y promotores llevo a levantar los edificios por encima de una altura recomendable para estructuras de obra de fabrica a y los cambios en su uso al cabo de los años han podido afectar a su seguridad.



Figura 1.1: Fachada típica de un conjunto de edificios del Eixample.

1.2. Metodología

Este trabajo consta de siete capítulos y un anejo para desarrollar el objetivo del estudio desempeñado en este informe.

Los capítulos dos, tres y cuatro desarrollan la explicación de un marco general sobre la obra de fábrica. Los capítulos cinco y seis y el anejo A están dedicados al análisis matemático del problema estructural.

A continuación se detalla los contenidos de cada capítulo y su organización.

- El primer capítulo en el cual nos encontramos actualmente desarrolla la introducción al estudio, los objetivos que se quieren asumir y la metodología utilizada para lograrlos.

- El segundo capítulo desarrolla un estado del conocimiento de la obra de fabrica centrándonos en las características del material usado actualmente y una breve explicación de el impacto de la obra de fabrica a través de la historia de la construcción.

- El capitulo tres es una pequeña investigación sobre el contexto histórico que marco la forma de construir y modificar los edificios existentes en el Ensanche de Barcelona.

- El cuarto capítulo se centra en el estudio geométrico y estructural del edificio que se pretende analizar.

- El capitulo cinco trata el análisis y método de cálculo de edificio que se llevara a cabo siguiendo la normativa del Código Técnico de la edificación, específicamente los apartados de Acciones en la edificación para determinar las cargas aplicadas a la estructura y el documento de Seguridad estructural para el cálculo de la estructura propiamente dicha.

- En el capitulo sexto analizamos los resultados y proponemos diversas soluciones a los problemas estructurales y las conclusiones obtenidas.

- El séptimo capítulo está dedicado a la biografía.

- El anexo A es una compilación de los cálculos efectuados en el trabajo y de los planos necesarios para la resolución del mismo.

1.3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es la de verificar la seguridad y observar el comportamiento estructural de las actuales construcciones del Ensanche cuando intentamos desarrollar las actividades para las que se diseñaron en su momento o las que se pudieran desarrollar en un futuro.

Para ayudarnos a completar este objetivo principal se deben conseguir los siguientes objetivos secundarios:

- Estudiar la historia de la mampostería y obra de fábrica desde su inicio hasta hoy en día.
- Explicar de forma clara y concisa las características fundamentales de la fábrica.
- Investigar el desarrollo histórico del barrio del Eixample.
- Estudiar brevemente las actuales normativas sobre la obra de fábrica y las diferencias entre ellas.
- Obtener los planos de un edificio antiguo de obra de fábrica del Eixample.
- Estudiar las cargas de los elementos y las solicitaciones necesarias para el cálculo.
- Presentar los cálculos y resultados de la estructura analizada.
- Crear una hoja de cálculo que facilite futuros cálculos de muros de carga sometidos principalmente a cargas verticales.
- Proponer alguna solución a las posibles deficiencias estructurales de los edificios típicos del Eixample.

Capítulo 2. Estado del conocimiento

2.1. Introducción

2.1.1 La obra de fábrica

En este apartado investigaremos la obra de fábrica y su mayor exponente, el ladrillo. Esta información ha sido extraída de Enciclopedia del encargado de obras. Materiales de construcción. Editorial Planeta DeAgostini Profesional y Formación. (2001)

Los ladrillos son productos cerámicos en forma de prisma rectangular que por sus dimensiones permiten al albañil colocarlos con una sola mano. La arcilla común es la materia prima utilizada para la fabricación del ladrillo.

En primer lugar podemos clasificar el ladrillo en función de la forma y su morfología, que incluye los siguientes tipos:

- a) *Ladrillo normal*: Es el ladrillo que tiene la forma de un paralelepípedo recto.
- b) *Ladrillo de mocheta*: Es el ladrillo que tiene un encaje rectangular en uno de los ángulos para poder adaptar a la pared los marcos de carpintería.
- c) *Ladrillo aplantillado*: Es el que tiene formas diferentes según moldes especiales, en función de su aplicación constructiva como, por ejemplo, el ladrillo redondeado.

Los ladrillos normales se pueden subdividir en función de su porcentaje y posición de orificios:

- a) *Ladrillo macizo*: Es el ladrillo que no tiene orificios o si los tiene, están en su cara más grande. El volumen de orificios nunca superara el 10% de su volumen total.
- b) *Ladrillo perforado*: Es un ladrillo que tiene agujereado el 10% de una de sus caras, la llamada tabla.
- c) *Ladrillo hueco*: Es el ladrillo cuyos agujeros se encuentran en las caras laterales de la pieza. Son piezas muy utilizadas, con diferentes medidas y un número variable de agujeros. Las más conocidas son las tochanas o el ladrillo doble hueco.

Una tercera clasificación tiene en cuenta su sistema de fabricación y podemos distinguir:

- a) *Moldeado a mano*: Son aquellos ladrillos cuyo molde se ha llenado a mano y necesitan disponer de una pasta con mas cantidad de agua y un secado más largo. Son piezas que necesitan mucha mano de obra y tiempo y por tanto su coste es muy elevado. Es utilizada por sus texturas para la obra vista.
- b) *Fabricación por extrusión*: Este sistema consiste básicamente en empujar la pasta de arcilla a través de una matriz con la forma del molde de la pieza que se quiere fabricar con una maquina extrusora.
- c) *Moldeado por prensado*: Sistema que se utiliza sobre todo para hacer productos de alta calidad y consiste en colocar la masa arcillosa entre moldes y aplicarle presión por medio de una prensa.

2.1.2 Propiedades técnicas del ladrillo.

Las propiedades técnicas de un ladrillo son fundamentalmente las siguientes.

- **Absorción**: Esta propiedad es inversa al grado de cocción. Por lo tanto cuanto mejor cocida esta la pieza cerámica, menor absorción tiene. Se deberá tener en cuenta este aspecto ya que un ladrillo muy absorbente debe mojarse antes de su colocación para que no absorba el agua del mortero.
- **Resistencia mecánica**: Los esfuerzos que un ladrillo puede resistir adecuadamente son los que le exigen una compresión. La resistencia a compresión es muy variable, ya que depende del tipo de pieza y de su calidad. Pueden encontrarse resistencias de entre 3 y 30 N/mm².

La terminología respecto a las aristas y caras del ladrillo es la siguiente.

Respecto a las caras:

- *Tabla*. Es cada una de las caras grandes del ladrillo
- *Canto*. Es cada una de las caras largas del grueso del ladrillo.
- *Testa*. Corresponde a la denominación de cada una de las caras cortas del grueso del ladrillo.

Respecto a las aristas:

- *Soga*. Las aristas más largas.
- *Tizón*. Las aristas de dimensiones medianas
- *Grueso*. Las aristas más cortas.

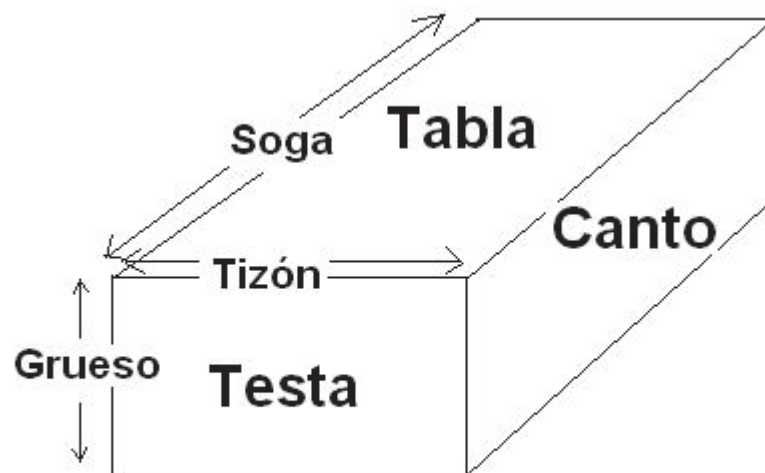


Figura2.1: Partes del ladrillo

2.1.3. Aplicaciones de los ladrillos en la construcción actual.

Los ladrillos presentan una serie de ventajas e inconvenientes tanto en función de las características del material que sirve para fabricarlo como por la forma de elaborarlo y su volumen de huecos. Hay que tener siempre en cuenta que es una de los materiales más utilizados en la construcción actual.

Las ventajas más destacadas que nos ofrece el ladrillo son las siguientes:

- Facilidad de colocación
- Adaptabilidad a una gran variedad de fábricas.
- La arcilla es un material barato, abundante y fácil de obtener.
- Facilidad de transporte y acopio.
- Buen aislamiento térmico.

Aun con todas estas ventajas no podemos olvidar sus aspectos negativos que nos obligan a descartar este material en muchos procesos constructivos. Los inconvenientes más importantes son:

- Necesidad de mucha mano de obra especializada con el consiguiente aumento del coste.
- Su peso propio es muy elevado en comparación con su baja resistencia a compresión.

Las aplicaciones más normales de este material en forma de ladrillo macizo y perforado es la de construcción de elementos estructurales resistentes como muros de carga, pilares, cimentaciones, etc...

El ladrillo doble hueco se destina mayoritariamente para hacer paredes ligeras de carga, cerramientos y divisiones. El ladrillo hueco sencillo es únicamente utilizado para la realización de tabiques.

2.2. Evolución de la obra de fábrica en el tiempo

La historia de la obra de fábrica constituye uno de los capítulos elementales de la arquitectura. El ladrillo de barro utilizado en los inicios de la construcción ha sido desplazado en el mundo desarrollado por nuevas tecnologías y materiales que le han dado a este material un sinfín de utilidades además de la meramente estructural.

En este apartado recorreremos brevemente la larga historia de la obra de fábrica y su evolución histórica hasta nuestros días.

2.2.1. Orígenes

La mampostería, el adobe y el *cob* noreuropeo, son los recursos arquitectónicos más primitivos en la historia de la albañilería humana. El empleo del adobe se data entre el 10.000 y el 8.000 a.C. Asimismo se ha calculado que los ladrillos, como elemento para la construcción, tienen una antigüedad de unos 11.000 años. Los primeros en utilizarlos fueron los agricultores del neolítico pre cerámico del Levante Mediterráneo hacia 9500 a. C., ya que en las áreas donde levantaron sus ciudades apenas existía la madera y la piedra.



Figura 2.2.1: Ladrillos de adobe secándose a la intemperie.

2.2.2. Mesopotamia, la India y Egipto

Las hiladas de ladrillo más antiguas que se conocen, anteriores a 7500 a.C., se descubrieron en diferentes yacimientos arqueológicos de Mesopotamia. Asimismo, ladrillos datados entre 7000 y 6395 a.C., son los hallados en 1952 en las excavaciones de Jericó, en las cercanías del río Jordán.

El empleo de ladrillos demuestra que era más fácil transportarlos que acarrear el propio barro al lugar de la construcción. Más hacia Oriente, en la mítica ciudad de Mehrgarh, se han fechado toscos ejemplares de barro hacia 7000 a.C.

Pasando al continente africano se encuentran materiales similares en Nubia, Antiguo Egipto. El uso de moldes para hacer ladrillos regulares se atribuye al Antiguo Egipto. Los diferentes pasos que se seguían para su elaboración han quedado descritos en las pinturas murales de Egipto hacia el 1450 a.C.

Un importante avance en la albañilería primitiva fue el ladrillo cocido, que comenzó a usarse hacia 3500 a.C. La cocción le dio una resistencia similar a la piedra, con la ventaja de su moldeado previo. Moldear ladrillos era menos costoso que tallar piedras, lo que abarató los precios de la construcción.



Figura 2.2.2: Pared de pirámide egipcia.

2.2.3. Ladrillos en Roma

A pesar de su gran pasión por la piedra como elemento arquitectónico, los romanos utilizaron el ladrillo tanto como la piedra. Un ejemplo bien conservado son las Termas de Carcalla, en las que se empleó una mezcla de ladrillo y hormigón romano.



Figura 2.2.3: Termas de Carcalla, de ladrillo y hormigón.

2.2.4. La edad media y la edad moderna.

En el curso de la edad media, en el imperio bizantino, al norte de Italia, en los Países Bajos y en Alemania, así como en cualquier otro lugar donde escaseara la piedra, los constructores valoraban el ladrillo por sus cualidades decorativas y funcionales. Realizaron construcciones con ladrillos templados, rojos y sin brillo creando una amplia variedad de formas, como cuadros, figuras de punto de espina, de tejido de esterilla o lazos flamencos. Esta tradición continuó en el renacimiento y en la arquitectura georgiana británica, y fue llevada a América del norte por los colonos.

2.2.5 Actualidad

Actualmente el ladrillo sigue siendo un material muy utilizado en edificios de pequeña y mediana envergadura. La facilidad de aplicación de las piezas para formar elementos constructivos mayores ha permitido que la obra de fábrica no sea desplazada por los relativamente nuevos materiales como el acero y el hormigón.

No solo no ha sido desplazada sino que es un material que se adapta perfectamente a estos otros materiales para embellecerlos o darle propiedades de la que no disponen en su origen. Podemos observar esto en múltiples edificios plurifamiliares donde la tensión estructural la soportan pórticos de hormigón y los cerramientos y partes vistas son mayoritariamente de obra de fábrica.



Figura 2.2.4: Edificio plurifamiliar con estructura de hormigón y cerramientos de fábrica.

2.3. Normativas vigentes

Actualmente en el Estado Español están se puede utilizar tanto el Código Técnico de la Edificación como el Eurocodigo 6 para el cálculo de la Seguridad Estructural en Obra de fabrica.

Hay que destacar que los dos documentos son muy similares y prácticamente la única diferencia existente es la simplificación del CTE respecto al Eurocodigo 6.

En nuestro caso el cálculo está centrado en la compresión de la obra de fabrica y las diferencias entre los dos documentos son mínimas ya que si comparamos las secciones utilizadas del CTE DB SE-F y las alternativas del Eurocodigo las exigencias son las mismas y la diferencia más significativa se encuentra en las tablas de clasificación de los materiales.

Otra diferencia importante es la obligación que nos impone el CTE en los nudos internos de un edificio de calcular los momentos en el nudo considerando una combinación de cargas en los forjados lo más desfavorable posible pudiendo aplicar en un forjado la carga total y en el otro no incluir las sobrecargas para así aumentar el momento flector.

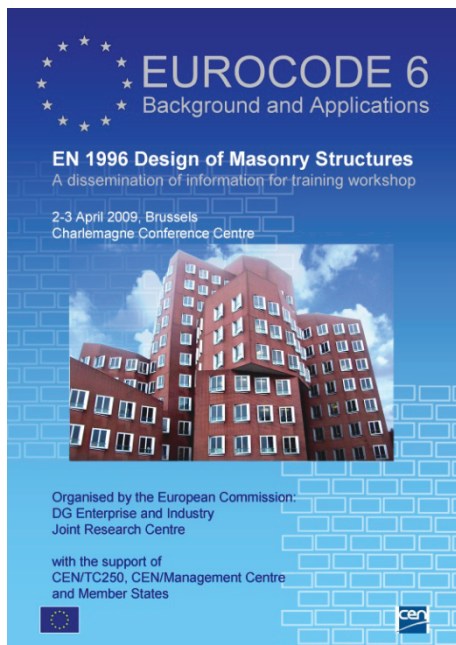


Figura 2.3.1 Eurocodigo 6 y Código técnico de la edificación.

Capítulo 3. Contexto

3.1. Introducción

En este apartado haremos un breve resumen del contexto histórico que inicia el desarrollo de la parte que actualmente se llama el Ensanche de Barcelona. El edificio del análisis es un modelo repetitivo de construcción que podemos ver en la mayor parte del espacio del Ensanche con pequeñas diferencias.

Es por esto que en este punto estudiaremos superficialmente los acontecimientos que dieron lugar a la expansión de la ciudad y al proyecto que se ejecuto. Parte de esta información ha sido extraída de trabajos anteriores (Gutierrez Alfonso, L., Gutierrez Díaz, J. (2010) Rehabilitació i canvi d'ús d'un edifici situat al Carrer Consell de Cent, 435, Barcelona. Final Architectural Report, Universitat Politècnica de Catalunya.)

3.2. Barcelona antes del ensanche

A finales del siglo XVIII, Barcelona disponía de una muralla que albergaba la antigua ciudad romana, la posterior ciudad medieval y una ciudad comercial con una economía creciente. Fuera de estas murallas se encontraba la antigua fortaleza militar del rey Felipe V (La Ciutadella) y el Castillo de Montjuic.

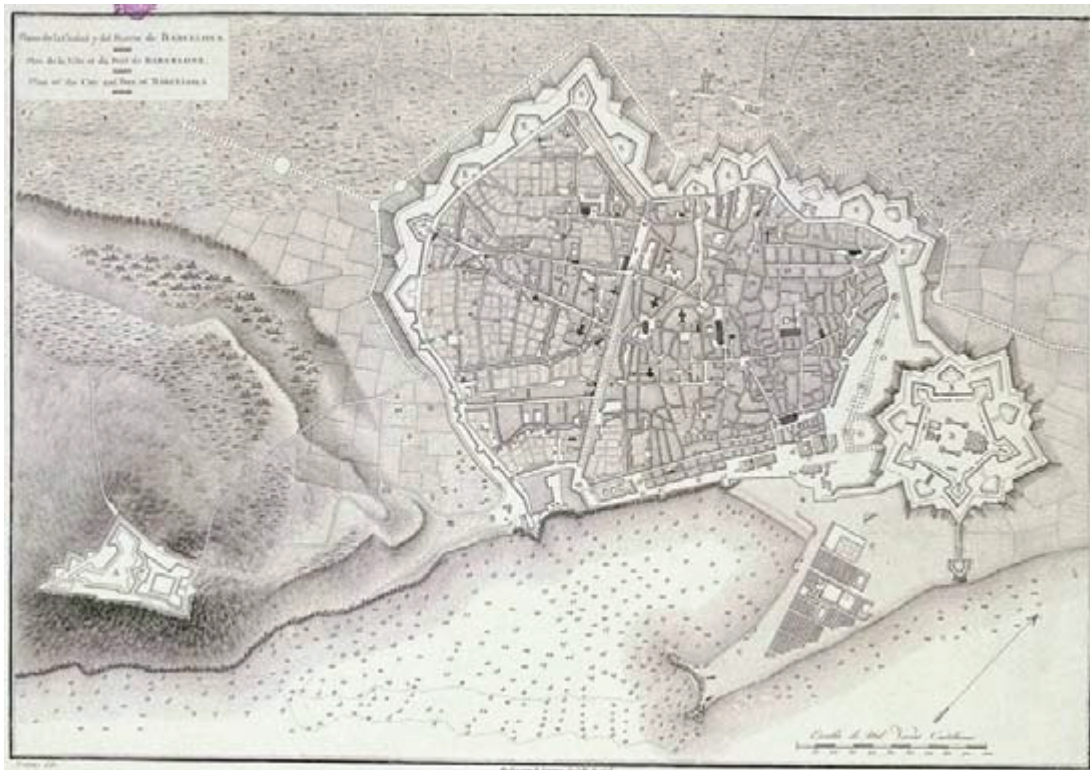


Figura 3.2.1: Ciudad de Barcelona siglo XVIII.

El desarrollo industrial provocó el incremento de las ciudades vecinas entre las que podemos nombrar como ejemplo a Gracia, Sants, Sant Martí de Provençals, Les Corts, Sant Andreu del Palomar, el Clot, etc.

Con el crecimiento de la ciudad y a causa de algunos antecedentes históricos la muralla provocó un ahogo sobre la propia ciudad y se creó la necesidad de derribar esta barrera arquitectónica y desarrollar un plan de ensanche de la ciudad.

Algunas de las fechas más importantes del proceso del Ensanche de Barcelona son las siguientes:

El primer intento llegó en 1838 a través de un plano presentado por la Junta de Obras de Barcelona que propuso una modesta ampliación entre la actual calle Pelayo, Fontanella, Ronda Universitat y Ronda San Pere hasta la Plaza del Obispo Urquinaona.

Esta propuesta tuvo una buena acogida y la Comandancia de Ingenieros presentó otro plan titulado *“Proyecto de Obras de Defensa”*, que consistía en adelantar las murallas entre las calles Taller y Junquers. Miquel Garriga y Roca se ofreció como arquitecto municipal para acometer el desarrollo del Ensanche.

La propuesta inicial del Ensanche se aprobó un año más tarde y la propuesta de ampliación de la muralla tardó otros cinco años y no se hizo hasta 1844. En ese momento el Ayuntamiento reclamó que los solares resultantes del derribo pasaran a manos municipales pero la autoridad militar se negó y la ampliación quedó demorada.

En 1841 el Ayuntamiento de Barcelona había convocado un concurso para promover el desarrollo de la ciudad. El primer premio se le concedió a Pere Felip Monlau por su proyecto *“Abajo las murallas. Memoria acerca de las ventajas que reportaría a Barcelona y especialmente a su industria la demolición de las murallas que circuyen la ciudad”* en el cual se pedía una expansión desde el río Llobregat hasta el río Besòs. Este proyecto tuvo un gran apoyo pero el bombardeo sobre Barcelona impidió una vez más su ejecución.

A partir de las iniciativas de los vecinos de Gracia y del Ayuntamiento de Barcelona para unir ambas poblaciones nace un nuevo intento en 1846. Se volvió a nombrar una comisión para llevar a cabo los diferentes proyectos pero una vez más este plan tampoco se materializó. Hicieron falta diez años para que el Ayuntamiento de Barcelona, y tras una epidemia de cólera debida a la sobrepoblación de la ciudad, aprobara definitivamente el derribo de las murallas.

En 1854 Pascual Madoz, Ministro, de Hacienda, promulga una orden que autoriza la demolición de las murallas excepto la muralla marítima, el Castillo de Montjuic y la Ciutadella.

El Ministerio de Fomento encarga al ingeniero Ildefons Cerdà el plano topográfico del Pla de Barcelona entre Gracia y Barcelona y entre Sants y Sant Andreu Palomar en 1855. Al año siguiente el mismo ingeniero presenta los planos.

El Ayuntamiento, por su lado, promueve un proyecto de Ensanche que presenta en 1857 el arquitecto municipal Miquel Garriga i Roca que es aprobado por la Corporación municipal el 6 de abril de 1958.

En 1859 se suceden una serie de órdenes y contraórdenes sobre el Ensanche. El 2 de febrero Cerdà recibe la orden del gobierno central de realizar un estudio del Ensanche en un plazo de doce meses. El Ayuntamiento de Barcelona reacciona y convoca un concurso público para planificar el Ensanche con fecha límite a 15 de julio.

Cerdà acaba pronto su proyecto y lo presenta a Pascual Madoz, ministro de Hacienda, a Laureà Figuerola, catedrático de economía de la Universidad de Barcelona i Madrid, y al Marqués de Corvera, director general de Obras Públicas. El 9 de junio, y a través de una real orden, el gobierno central aprueba el diseño de Cerdà.

El Ayuntamiento de Barcelona solicita formalmente la derogación del real decreto que aprobaba el proyecto de Cerdà y sigue adelante con la convocatoria del concurso. Se presentan trece proyectos de los cuales sale vencedor el del arquitecto Antoni Rovira i Trias.

El conflicto se resuelve el 8 de julio de 1860 cuando el Ministerio de Fomento ordena la ejecución del Pla Cerdà.

3.3. Proyecto del ensanche

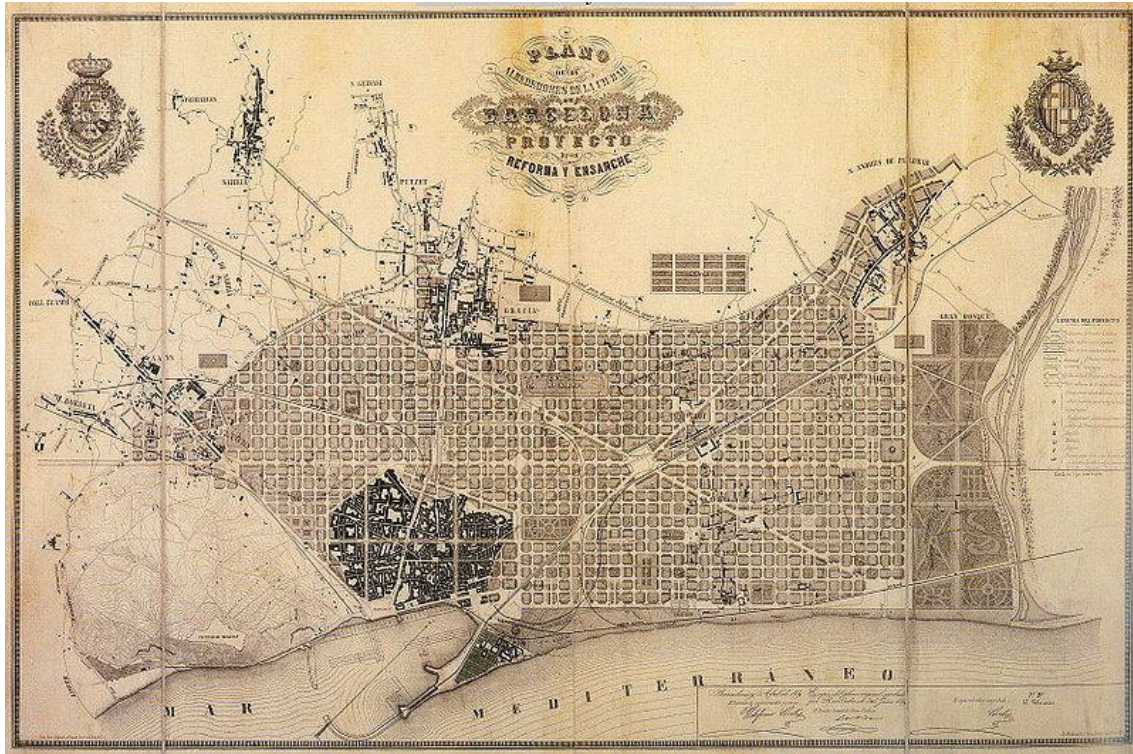


Figura 3.3.1 Plano de proyecto de Cerda

El proyecto original del ensanche de Barcelona de Cerdà viene precedido por un Anteproyecto de 1855. Lo más importante de este documento es la higiene y salubridad de las viviendas. Los edificios están ventilados y disponen de luz natural. En su diseño se distinguían dos tipos de casa: la casa obrera y la casa burguesa.

El modelo burgués es un edificio con subterráneo, entresuelo, dos plantas y altillo o terraza, todo ello rodeado de un gran jardín. El estilo era afrancesado con grandes ventanales y balcones. Estos edificios podemos verlos principalmente en Paseo de Gracia. El modelo obrero se compone de una galería que da a un patio comunitario y central y forma las islas de edificios con ambos tipos de construcciones.

La estructura viaria separa las casas por un jardín y las calles disponen de 35 metros de anchura. A la vez traza tres grandes vías de comunicación de 50 metros que actualmente son el Paralelo, la Meridiana y la Rambla que se prolonga hasta Paseo de Gracia. También diseña una cuarta arteria de comunicación que será la Gran Vía.

El Plan de Reforma y Ensanche de la ciudad de Barcelona fue aprobado el 7 de junio de 1859 y el 4 de septiembre de 1860 la reina Isabel II coloca la primera piedra en la actual Plaza Catalunya. Aun así el crecimiento fuera de las murallas se inicia lentamente por la falta de infraestructuras.

A partir de 1870 el proceso de construcción se acelera con el cierre de las colonias y la vuelta de los Indianas con capital que encuentran un buen negocio en la inversión inmobiliaria. De esta manera se inicia una especulación que desvirtuara el proyecto inicial reduciendo espacios verdes y equipamientos a lo largo y ancho del ensanche.

Con la exposición universal de 1888 la ciudad sufre un nuevo impulso que permite la creación de servicios públicos y nuevas zonas. El gran desarrollo del Ensanche se produce el año 1897 cuando quedan integrados en la ciudad los municipios de Sants, Les Corts, Sant Gervasi de Cassoles, Gracia, San Andreu del Palomar y Sant Martí de Provençals.

El diseño de Cerdà se despliega sobre una inmensa superficie siguiendo los criterios de un diseño de calles rectilíneas y largas que se cruzan en ángulo recto creando manzanas rectangulares.



Figura 3.3.2. Típica composición de manzana del Ensanche

Capítulo 4. Estado del edificio

4.1. Introducción

El capítulo en que nos encontramos trata exclusivamente el estado del edificio a analizar. Aunque los datos obtenidos (Casademunt, A.P. (2009) *Secrets D'Un Sistema Constructiu. L'Eixample*) son en algunos casos de un edificio en concreto muchos otros son de elementos y procesos constructivos que podemos encontrar en muchos edificios del ensanche.

En la actualidad existen aproximadamente 8989 edificios en la zona del Ensanche, de los cuales 6160 (69 %) corresponden a edificios de mampostería no reforzada como nuestro modelo de análisis.

4.2. Geometría

Una de las tipologías constructivas más comunes en el Ensanche es la que resolveremos en este estudio, un edificio de mampostería reforzada colocada a lo largo de un bloque típico.

Cada edificio rectangular constituye una parte del bloque que forma la cara de una manzana del Ensanche y fueron construidas como parte del desarrollo de todo el bloque e inmediatamente adyacentes al edificio vecino.

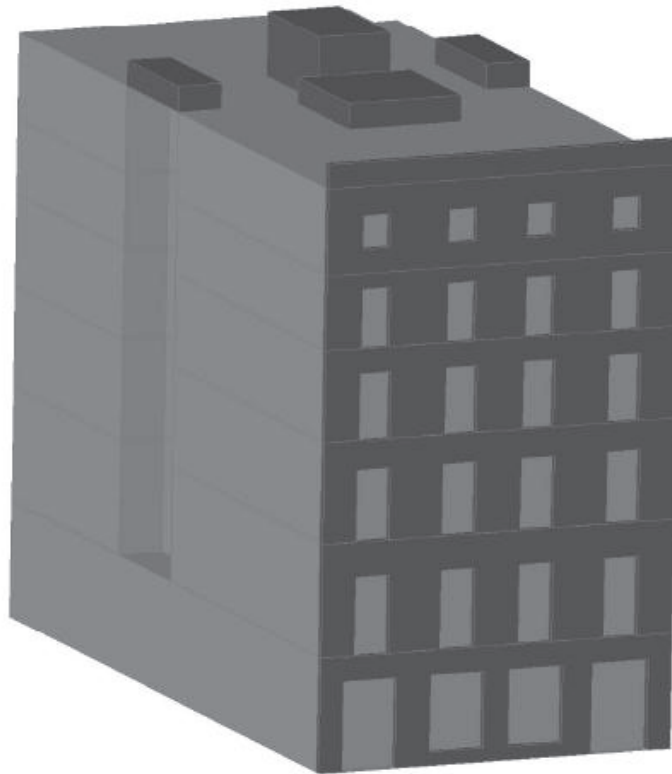


Figura 4.2.2: Simulación 3D de el edificio de estudio (Potter, C. 2011)

El edificio tiene 21,1 metros de altura edificada, 14 metros de ancho y aproximadamente 27,4 metros de profundidad. Estas medidas son típicas en el Ensanche de Barcelona.

Todas las paredes son de obra de fábrica, las de fachada tienen un grosor de 600mm en la planta baja y de 300 mm en las plantas superiores mientras que las de medianera y las portantes interiores tienen grosores de 300 mm en planta baja y 150 mm en plantas superiores. Los tabiques son de aproximadamente 50mm en la gran mayoría.

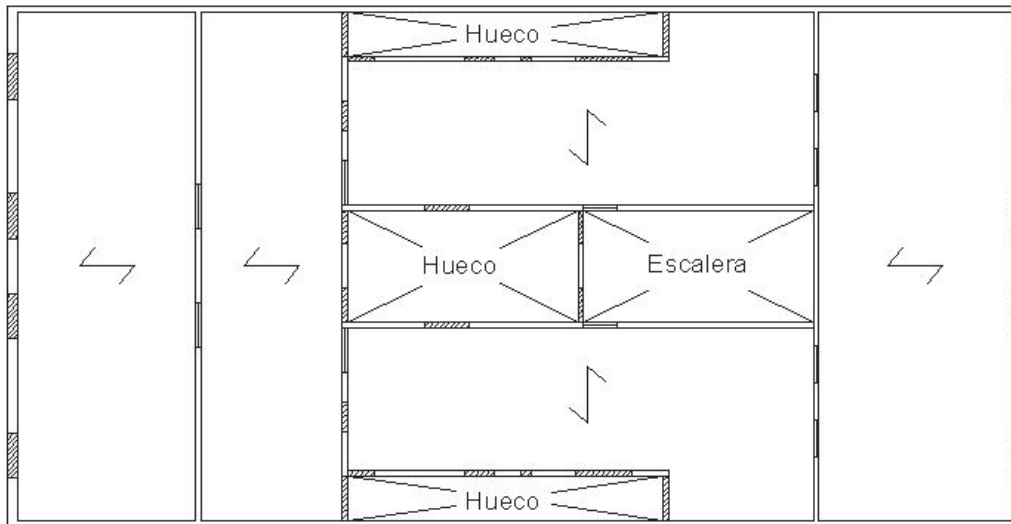


Figura 4.2.1 Planta tipo del edificio estudiado.

La relación de volúmenes vacíos en nuestro edificio es del 9,6% y comprende un hueco central y dos laterales. Esta relación es solo ligeramente superior a los requisitos de un edificio con dos fachadas que la normativa marca con un mínimo del 8%. En el caso de incluir un ascensor en parte del hueco central la relación se aproxima mucho a ese 8% límite.

4.3. Procesos y elementos constructivos

4.3.1 Procesos

4.3.1.1 Obra de Fábrica

Esta técnica es la utilizada mayoritariamente en todos los edificios del Ensanche para los elementos estructurales que están sobre la rasante. Este sistema resuelve íntegramente todos los sistemas estructurales del edificio a estudiar. Los muros de carga y los de arriostramiento y carga y los tabiques están desarrollados con este procedimiento constructivo.

La ejecución de la obra de fábrica se lleva a cabo mayoritariamente con muros de 15 y 30 cm de espesor aunque en el edificio a estudiar la planta baja dobla estos valores tanto en muros de fachada como en muros interiores.

En lo tocante a las resistencias (Paricio, 2001) nos habla de no superar las siguientes resistencias en la obra de fabrica. Estos datos son recomendaciones de Pere Benavent en su primer libro *Como he de construir* (1934).

- 30 Kg/cm² para obras de fabrica con pieza mecánica
- 12 Kg/cm² para obras de fabrica ejecutadas con piezas manuales.



Figura 4.3.1.1: Muro portante de obra de fabrica.

Respecto a la colocación y ejecución del sistema se aconsejaba mojar primero las piezas cerámicas para que no deshidrataran el mortero. Otro criterio muy utilizado era el de que todos los forjados penetraran como mínimo un tercio del grosor del muro para conseguir una buena vinculación.

4.3.1.2 Mampostería ordinaria

Esta técnica más rudimentaria se utilizó básicamente en la construcción de elementos por debajo de la rasante como los cimientos, los muros del subterráneo y algunos accesos a los subterráneos.

4.3.1.3 Construcción con sillares.

Este proceso constructivo se aplicó exclusivamente a las fachadas. Normalmente solo se puede observar en las plantas bajas y zócalos de los edificios para darles un aspecto más noble.

En algunos casos muy singulares se podía revestir toda la fachada con sillares pero el coste y la minuciosidad del trabajo lo relegaba a los edificios de propietarios más adinerados.



Figura 4.3.1.3. Construcción con sillares.

4.3.1.4 Construcción con ladrillo plano

Este proceso se utilizaba sobretodo para crear los arcos que hacian de encofrado entre viguetas de acero. Los ladrillos se unian por los cantos y formaban una solución perfecta para la construccion de figuras ligeras con forma de arco o parabola.

Para esta tecnica es vital la destreza del obrero ya que se podian colocar sin necesidad de elementos auxiliares.



Figura 4.3.1.3: Forjado con arcos ejecutados con ladrillos planos

4.3.2 Elementos constructivos

En este apartado se explicara los diferentes elementos que se analizan en el cálculo estructural del estudio.

4.3.2.1 Muros de fachada.

Los muros de fachada están constituidos por dos partes muy diferenciadas, la planta baja y el resto de plantas tipo. Según la normativa de 1856 los muros debían tener un ancho mínimo de 3 palmos (0,582 m) desde el plano del terreno hasta el entresuelo y de este punto al extremo superior este requerimiento disminuía a 1,5 palmos (0,291m). El grueso de las paredes del interior se dejaba a saber y prudencia del director de la obra pero como se puede observar solían ser de 300mm en la planta baja y de 150 mm en los pisos superiores.

A continuación se describirá los elementos constructivos más importantes que forman parte de la fachada.

- 1) Los agujeros en la fachada son un elemento que distorsiona la continuidad de descenso de las cargas. Para poder transmitir estas cargas y liberar ese espacio vacío de la responsabilidad resistente se ejecutaron arcos que después se cubrían en muchos casos con obra de fábrica para dejar la parte superior horizontal.
- 2) Los balcones son un elemento importante en el Eixample aunque tienen una tímida salida al exterior y muchas no superaban los 40cm de volada.

4.3.2.2 Muros de interiores.

Los muros interiores engloban los muros de medianera y los muros realmente de interior que no entran en contacto con ningún elemento externo del edificio.

Estos muros son portantes en prácticamente todos los casos estudiados en nuestro edificio y su parte más problemática es la de enlazarlos con la pared de fachada ya que tenemos que encajar un muro de 150 mm con uno de 300mm. Este procedimiento pese a ser llevado a cabo con mano de obra especializado muchas veces se resuelve de manera deficiente.

La diferencia de tensiones entre estos muros interiores y los de fachada muchas veces supone la rotura de estos vínculos estructurales.

Respecto a los muros interiores hay que tener en cuenta dos factores problemáticos para su seguridad estructural.

El primero es que el muro está muy agujereado para la colocación de puertas y esto reduce una sección resistente ya muy cargada al tener forjados que descansan sobre ella en uno y otro lado cosa que no pasa ni en las paredes de medianería ni en las de fachada.

El segundo punto que afecta negativamente a la seguridad estructural de estos muros es su esbelteza horizontal ya que el muro tiene aproximadamente 14 metros de longitud con dos arriostramientos laterales normalmente rotos por las diferencias tensionales.

Estos defectos sumados a su pequeña sección resistente original de 150 mm nos da como resultado el elemento estructural más problemático y inseguro del edificio.

4.3.2.3 Los forjados.

Los forjados con vigueta metálica fueron un cambio importante en la construcción de estos edificios que hasta el momento disponían de forjados con vigas de madera. Sus dimensiones reducidas, su geometría y su afinidad con el mortero facilitan la unión a los muros resistentes y consiguen un encastramiento donde la madera solo conseguía un apoyo. Esto permite mejorar el arriostramiento del edificio completo.

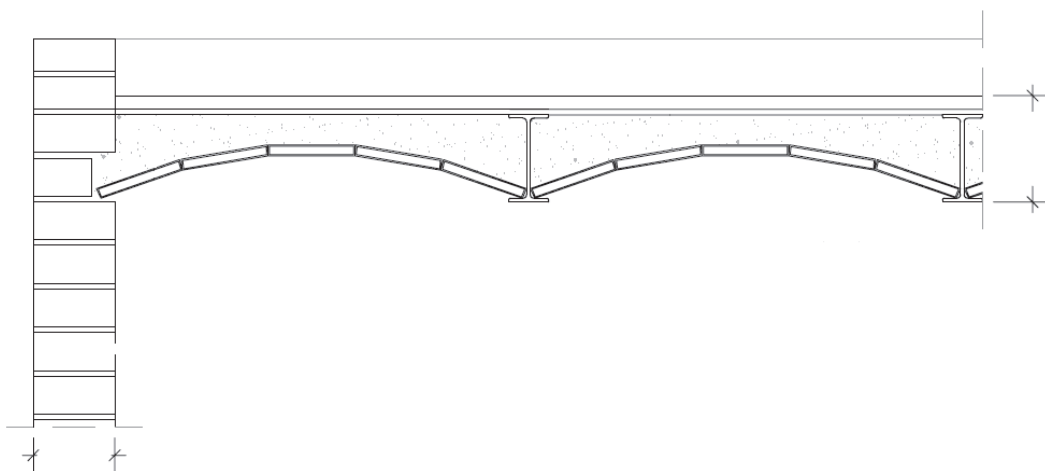


Figura 4.3.2.3: Detalle constructivo de un forjado con vigueta de acero y arco cerámico.

4.4. Materiales utilizados

Para entender todo el análisis anterior sobre el sistema constructivo es necesario ver con algo más de detalle los materiales que forman los diferentes elementos constructivos. En nuestro caso estos materiales y una mano de obra capacitada fueron la base fundamental sobre la que se edificó el ensanche antiguo.

De todos los posibles materiales utilizados los más importantes son la cerámica y el mortero de cal ya que son los que constituyen la obra de fábrica que es el objeto de estudio de este trabajo.

4.4.1 El mortero

El mortero es una de las dos partes básicas de la obra de fábrica y podemos distinguir los siguientes tipos: cal aérea, cal hidráulica, cemento lento y portland.

De estos cuatro la cal aérea era el único conglomerante utilizado antes de 1910 ya que no era un conglomerante industrial como son los otros tres.

Esta cal se obtiene por calcinación de la piedra calcárea generalmente en hornos situados cerca del lugar de extracción. Durante el proceso de cocción se desprende anhídrido carbónico y queda la cal viva.



Figura 4.4.1: Cal en terrón

Este producto se transportaba a la obra y se acometía su hidratación. Para comprobar que se había hidratado correctamente se calculaba empíricamente que el volumen de la cal hidratada debía ser aproximadamente el doble del producto inicial.

Uno de los grandes beneficios de la cal aérea era su bajo precio y su gran problema era su lento endurecimiento con tiempos de secado de entre uno y dos meses.

El mortero utilizado en la construcción del típico edificio del Ensanche es un mortero constituido por una parte de cal y dos de arena. Era el mortero común y que se utilizaba tradicionalmente en obra de fábrica.

Un gran punto a favor del mortero de cal aérea es su buen comportamiento resistente pudiendo alcanzar resistencias de 40kg/cm^2 según nos indica (Paricio, 2001).

Más adelante se empezara a añadir una pequeña cantidad de cemento portland que mejorara la capacidad portante y la manipulación de estos morteros.

4.4.2 La cerámica

La cerámica era el material más utilizado en estas construcciones. Los muros de carga, tabiques, cubiertas, fachadas, enlosados, escaleras, columnas y hasta los arcos de entrevigeta del forjado se ejecutaban con productos cerámicos.

Los tipos de piezas y su utilización se han tratado en el punto 2.1 y no nos extenderemos más en este aspecto

Capítulo 5. Cálculos y resultado

5.1. Normativa aplicada

Para el análisis y los cálculos necesarios en el desarrollo de este trabajo he decidido utilizar el Código Técnico de la Edificación.

Para el apartado del cálculo de solicitaciones y acciones se ha usado el Documento Básico de Acciones en la edificación y para el cálculo de la estructura propiamente dicha se ha hecho uso del Documento Básico de Seguridad Estructural en obra de fábrica.

Para la determinación de las características mecánicas de la obra de fábrica se ha usado el Código italiano NTC DM 14-01-08, porque es una de las normativas más actuales que presenta un método de cálculo detallado para fábricas existentes.

Nuestro valor de resistencia de cálculo de la fábrica está extraído mediante un factor de confianza definido en el Código italiano. El factor puede tomar valores entre 1,0 y 1,35, dependiendo del nivel de conocimiento de la estructura. Aspectos tales como la profundidad de la encuesta geométrica, material y constructiva, así como la mecánica de investigación con respecto al terreno y la cimentación, se consideran para la determinación del factor de confianza.

Como se verá en el siguiente punto el cálculo del comportamiento estructural es el especificado en el apartado del CTE sobre muros sometidos predominantemente a carga vertical. Este apartado se centra principalmente en el pandeo del muro y su influencia en la resistencia a compresión de la fábrica.

5.2. Criterios y solicitaciones

En este capítulo se desarrolla el procedimiento de comprobación para la estructura estudiada. La combinación de carga utilizada es la correspondiente a las acciones permanentes y una acción gravitatoria variable.

La acción permanente considerada es el peso propio, tanto de los elementos estructurales (forjados y muros), como de los elementos constructivos que gravitan sobre ellos o “cargas muertas” (solados, tabiquerías y revestimientos).

Es importante destacar que el peso de la tabiquería aparece explícitamente incluido dentro del grupo de acciones permanentes, en el Documento Básico “Seguridad estructural: Acciones en la edificación”.

Dado que nuestra estructura es un edificio que transmite sus tensiones al terreno mediante paredes de carga, y al no considerar el viento en nuestros cálculos, se ha utilizado para la resolución del cálculo el apartado de *Muros sometidos predominantemente a cargas verticales* del CTE-DB-SE-F.

Se comprobará la resistencia y el factor de seguridad de cada sección de muro en su coronación, su pie y punto medio.

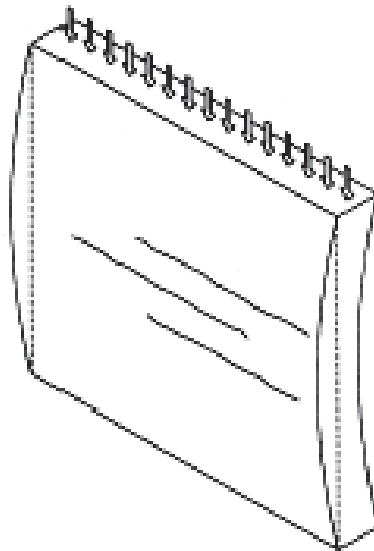


Figura 5.1.1. Ejemplo de pared sometida a pandeo.

5.3 Propiedades de los materiales

Estudios anteriores (Bonetti et al (2003)) (Pujades et al (2012)) describen las principales propiedades de los materiales utilizados en la mampostería no reforzada del Eixample. Los paños de pared son de obra y este mismo autor que analizó las diferentes características de la mampostería.

En las siguientes tablas podemos ver los datos aportados por Bonnet y por la normativa del Código Italiano siendo F_m la resistencia a compresión de la fábrica, t_0 la resistencia a cortante, E el módulo elástico, G el módulo cortante y W el peso específico.

Tipo de muro	F_m (N/mm ²)	t_0 (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	W (kN/m ³)
Obra de fábrica	Sin datos	0,1	2100	700	Sin datos

Figura 5.3.1: Datos extraídos de Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras de mampostería no reforzada. Aplicación a un edificio de la zona del Eixample en Barcelona (España). (Bonetti et al. 2003).

Estas propiedades mecánicas han sido reducidas por un factor de confianza según la normativa del Código italiano NTC DM 14-01-08.

Tipo de muro	F_m (N/mm ²)	t_0 (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	W (kN/m ³)
Obra de fábrica	2,4 - 4	0,06 - 0,092	1200-1800	400 - 600	18

Figura 5.3.2: Tabla C8A.2.1 del Código italiano NTC DM 14-01-08.

Tras obtener los datos de la tabla de la figura 5.3.2 podemos adaptar estos valores mediante un factor de confianza o seguridad definido por los parámetros de la siguiente manera:

- El nivel de conocimiento LC3 se alcanza cuando se ha llevado a cabo la verificación in situ de la geometría, una **verificación intensa y exhaustiva** de los detalles constructivos y una indagación exhaustiva de las propiedades mecánicas. Si se cumplen estos requisitos el factor de seguridad sería de 1.

- El nivel de conocimiento LC2 significa alcanza cuando la encuesta se ha llevado a cabo la verificación in situ de la geometría, una **verificación intensa y exhaustiva** de los detalles constructivos y un **indagación extensa** de las propiedades mecánicas. Si se cumplen estos requisitos el factor de seguridad sería de 1,2.

- El nivel de conocimientos medios LC1 alcanza cuando la encuesta se ha llevado a cabo la verificación in situ de la geometría, una **verificación limitada** de los detalles constructivos y una indagación limitada de las propiedades mecánicas. Si se cumplen estos requisitos el factor de seguridad sería de 1,35.

Nuestro estudio tras no poder cumplir las exigencias de LC3 y LC2 aplicara el factor de confianza LC1 que corresponde al factor de seguridad de 1,35.

En nuestro caso y tras las modificaciones pertinentes las características de nuestro material son las siguientes.

- El peso específico de la obra de fábrica es de 1800 Kg/m^3 .
- La resistencia a compresión varía entre 2,4 y 4 Mpa dependiendo de el numero de ensayos de los que dispongamos para el cálculo de la estructura. En nuestro objeto de estudio no poseemos datos sobre la resistencia a compresión aunque sí de las otras características mecánicas, por ello se llevara a cabo un estudio de sensibilidad que calculara la resistencia del edificio con diferentes valores de resistencia a compresión. Estos valores tras ser reducidos por el $FC = 1,35$ serán los siguientes: 1,8MPa, 2,37MPa y 2,95 MPa.
- El modulo de elasticidad según la normativa italiana será de 1800 Mpa pero en este estudio se ha aplicado uno algo menor ya que el valor dado es demasiado optimista en muchos casos. Basándonos en esto, y quedándonos en el lado de la seguridad tras aplicar el factor de seguridad de 1,35, nuestro modulo de Elasticidad es de 1333 Mpa.
- Los forjados están constituidos por viguetas metálicas IPN 200 con una longitud de entrevigado de 500mm.
- El modulo elástico del forjado es el del acero de estas vigas, es decir 210.000 MPa .
- La inercia del forjado por metro lineal es la de dos viguetas IPN 200, es decir 4280 cm^4 , sin contar la inercia añadida por el relleno para quedarnos del lado de la seguridad.

5.4 Cargas

El cálculo de las cargas en los forjados del edificio se han efectuado siguiendo las directrices del “Código Técnico Documento Básico Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación”. Según este documento obtenemos las siguientes formulas.

Formula en cálculos por resistencia:

$$1,35 * (\text{peso forjado} + \text{acabados} + \text{Tabiquería}) + 1,5 * \text{Cargas de uso} + (1,5 * \psi_0 * \text{uso secundario})$$

Formula en cálculos de estabilidad desfavorable:

$$1,1(\text{peso forjado} + \text{acabados} + \text{Tabiquería}) + 1,5 * \text{Cargas de uso} + (1,5 * \psi_0 * \text{uso secundario})$$

Formula en cálculos de estabilidad favorable:

$$0,9 (\text{peso forjado} + \text{acabados} + \text{Tabiquería}) + 0 * \text{Cargas de uso}$$

Basándonos en estas formulas deducimos los siguientes resultados:

Muros:

- Peso específico de la obra de fábrica en los muros: 24,3 kN/m³

Elementos de cubierta:

- Uso: 1 kN/m² - Nieve: 1 kN/m² - Forjado unidireccional: 2,5 kN/m²

- Pavimento cerámico: 1,1 kN/m² - ψ_0 nieve = 0,5

Total cubierta:

- Forjado de cubierta resistente: 7,2 kN/m²

- Forjado de cubierta desfavorable a la estabilidad: 6,1 kN/m²

- Forjado de cubierta favorable a la estabilidad: 3,2 kN/m²

Elementos de planta tipo:

- Uso: 2 kN/m^2 - Tabiquería: 1 kN/m^2 - Forjado unidireccional: $2,5 \text{ kN/m}^2$
- Pavimento hidráulico: $0,8 \text{ kN/m}^2$

Total planta tipo:

- Forjado de planta tipo resistente: $8,805 \text{ kN/m}^2$
- Forjado de planta tipo desfavorable a la estabilidad: $7,73 \text{ kN/m}^2$
- Forjado de planta tipo favorable a la estabilidad: $3,87 \text{ kN/m}^2$

5.5 Cálculos previos

Dado que calcular todos y cada uno de los elementos estructurales del edificio sería muy laborioso y largo sin utilizar un programa de cálculo automatizado, en este trabajo se calculará únicamente los paños de pared de una sola planta. Para ello se escogerá la planta que soporte una mayor tensión de compresión.

Para poder calcular los muros según la normativa del CTE primero debemos delimitar la zona del edificio a analizar. Para ello seguiremos una metodología que seguirá los siguientes pasos.

- A) Definir la dirección de carga de los forjados unidireccionales.
- B) Dividir los muros en paños portantes.
- C) Definir las áreas de forjado que apoyan sobre cada paño portante.
- D) Cálculo de las cargas parciales y totales en cada sección de pared.
- E) Cálculo final de las presiones en cada paño del muro.

A) Definir la dirección de carga de los forjados unidireccionales.

Según los datos y planos obtenidos (C.Potter 2011) se ha definido el siguiente plano con las direcciones de carga de los forjados.

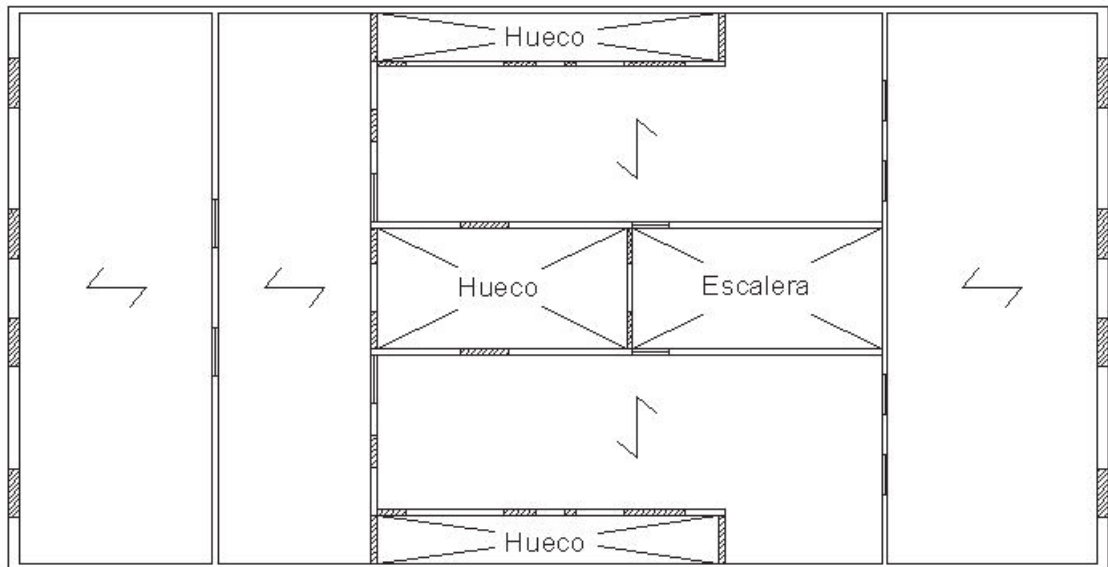


Figura 5.5.1. Direcciones de carga de los forjados en planta tipo.

El conocimiento de la dirección de carga nos indicara que paredes son portantes y cuáles no tienen ese uso estructural. Basándonos en la Figura 5.5.1 podemos observar que hay dos direcciones de carga diferenciadas.

La primera es perpendicular a las fachadas y apoya sobre estas y sobre los muros paralelos a ellas.

La segunda dirección de carga se encuentra en la parte central del edificio y es paralela a las fachadas. Estos forjados descargan su peso sobre las paredes de medianería y sus paralelas.

Aunque la planta tiene más paredes, que no se ven reflejadas en la figura 5.5.1, dichos muros no tienen capacidad portante ni de traba y no son más que tabiques que ya han sido considerados en el peso propio de la estructura.

B) Dividir los muros en paños portantes.

Tras conocer que muros son portantes los dividimos en secciones para poder analizar de forma más exhaustiva cada elemento y no pecar en un cálculo muy general que podría no ser veraz.

En la figura 5.5.2 podemos observar la numeración y división de los diferentes paños portantes. Aquellos paños que no están numerados son los que no soportan cargas procedentes de los forjados.

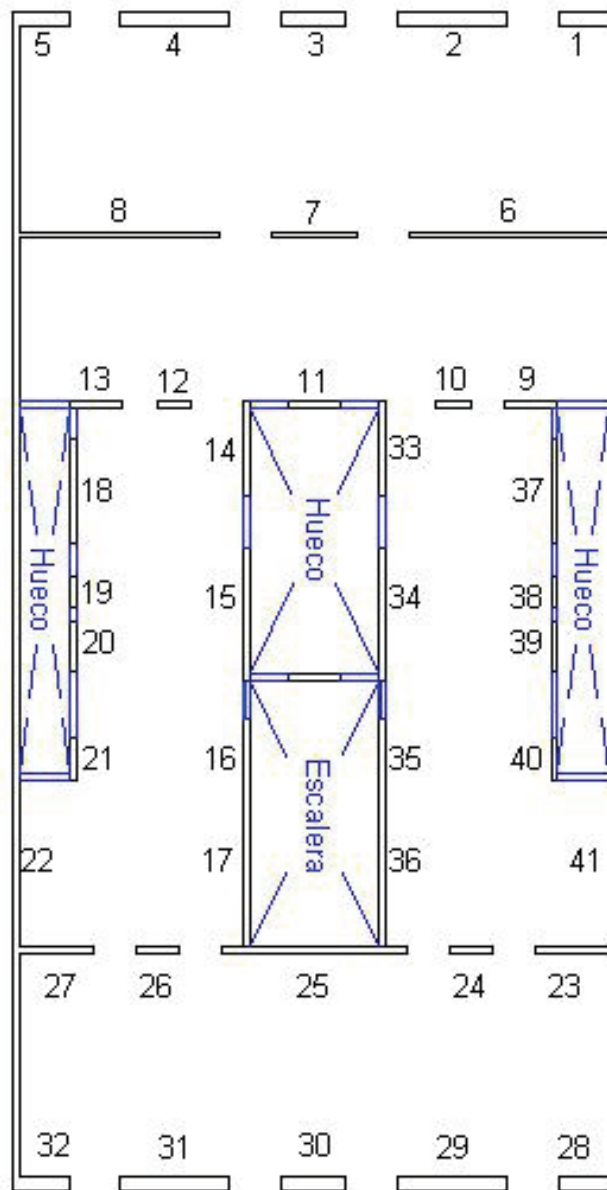


Figura 5.5.2. Muros de planta tipo dividido en paños portantes.

C) Definir las áreas de forjado que apoyan sobre cada paño portante.

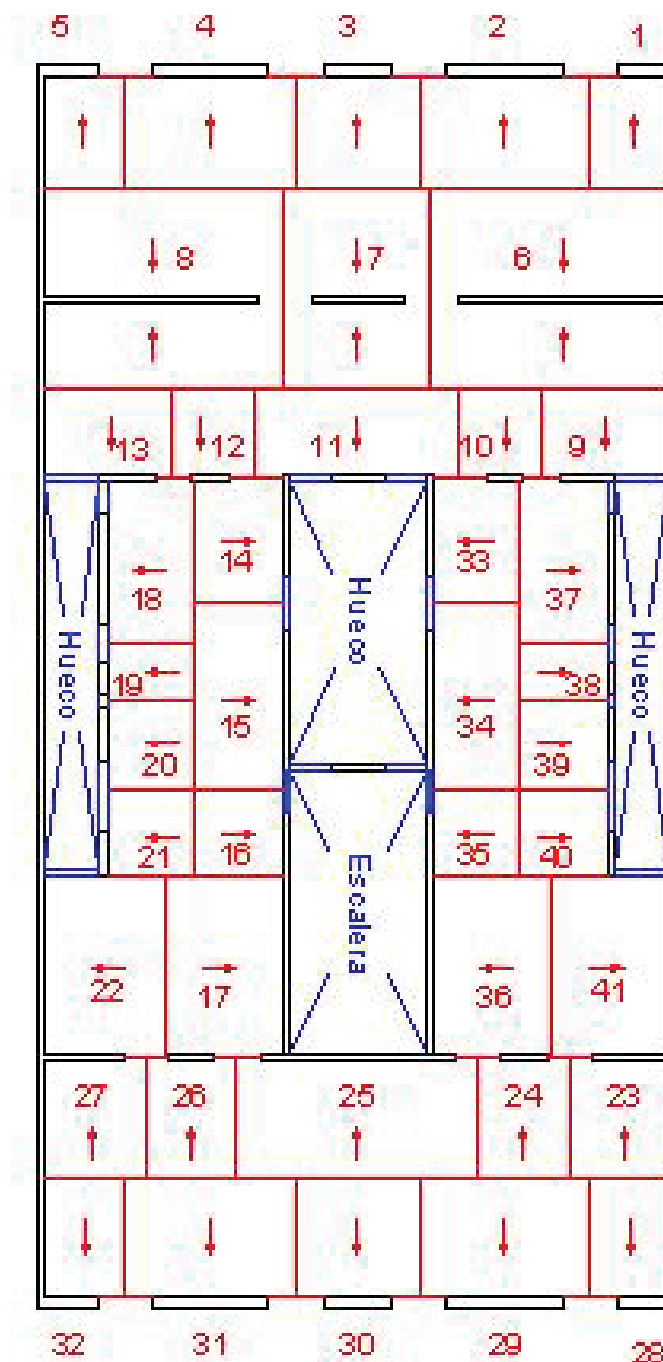


Figura 5.5.3. Plano de planta tipo con áreas de carga y pared sobre la que apoyan.

D) Cálculo de las cargas parciales y totales en cada sección de pared.

En la sección anterior se ha dividido el forjado en secciones y se ha asignado a cada sección el muro que la sustenta. En este apartado resolveremos la carga que aguanta cada paño del muro.

El primer paso es dividir cada paño de pared en partes portantes y partes no portantes por tener huecos en su sección. También definimos la superficie de forjado que le corresponde a cada paño y la anchura del paño.

En la tabla 5.5.4 podemos observar el cálculo de la sección portante de cada paño, esta sección la necesitaremos para el cálculo de las tensiones en cada paño.

Numero pared	Ancho (m)	Longitud portante (m)	Sección portante (m)
1 y 5	0,3	1,3	0,39
2 y 4	0,3	2,55	0,76
3	0,3	1,5	0,45
6 y 8	0,15	4,65	0,69
7	0,15	2	0,3
9 y 13	0,15	1,2	0,18
10 y 12	0,15	0,8	0,12
11	0,15	1,2	0,18
14 y 33	0,15	2,13	0,31
15 y 34	0,15	3,1	0,46
16 y 35	0,15	1,4	0,21
17,22,36,41	0,15	3,9	0,58
18 y 37	0,15	2,45	0,36
19 y 38	0,15	0,7	0,10
20 y 39	0,15	1,2	0,18
21 y 40	0,15	1	0,15
23 y 27	0,15	1,7	0,25
24 y 26	0,15	1	0,15
25	0,15	4,3	0,64
28 y 32	0,3	1,3	0,39
29 y 31	0,3	2,55	0,76
30	0,3	1,5	0,45

Tabla 5.5.4. Tabla de características de cada muro.

Tras definir la sección portante de cada paño pasamos a definir las superficies no portante y portante. Aunque la superficie no portante no ayuda en la resistencia estructural del elemento sí que interfiere ya que aporta su peso propio.

Por tanto es correcto decir que la superficie no portante del paño es una parte del muro necesaria para su funcionalidad pero a la vez empeora la eficiencia estructural del muro.

En la figura siguiente se calcula la superficie no portante del muro. Esta superficie se calcula restándole a la altura libre del muro el hueco ejecutado en cada muro. Una vez restado se multiplica la parte de muro restante por su longitud y de esta manera obtenemos la superficie de muro no portante.

Numero pared	Altura (m)	Hueco (m)	Altura sin hueco	Longitud (m)	Superficie (m2)
1 y 5	2,8	2	0,8	0,6	0,48
2 y 4	2,8	2	0,8	1,2	0,96
3	2,8	2	0,8	1,2	0,96
6 y 8	2,8	2	0,8	0,6	0,48
7	2,8	2	0,8	1,2	0,96
9 y 13	2,8	2	0,8	1,6	1,28
10 y 12	2,8	2	0,8	1	0,8
11	2,8	1,5	1,3	3,3	4,29
14 y 33	2,8	1,5	1,3	0,6	0,78
15 y 34	2,8	1,5	1,3	1,05	1,365
16 y 35	2,8	2	0,8	0,45	0,36
17,22,36 y 41	2,8	0	2,8	0	0
18 y 37	2,8	1,5	1,3	1,1	1,43
19 y 38	2,8	1,5	1,3	0,7	0,91
20 y 39	2,8	1,5	1,3	0,8	1,04
21 y 40	2,8	1,5	1,3	0,85	1,105
23 y 27	2,8	2	0,8	0,5	0,4
24 y 26	2,8	2	0,8	1	0,8
25	2,8	2	0,8	1	0,8
28 y 32	2,8	2	0,8	0,6	0,48
29 y 31	2,8	2	0,8	1,2	0,96
30	2,8	2	0,8	1,2	0,96

Tabla 5.5.5. Tabla de cálculo de superficie no portante en cada paño.

En la siguiente tabla se calcula la superficie de muro que si es portante. Este cálculo es más sencillo que el anterior ya que es una simple multiplicación entre la altura y la longitud del muro sin hueco.

Numero pared	Altura (m)	Longitud (m)	Superficie (m2)
1 y 5	2,8	1,3	3,64
2 y 4	2,8	2,55	7,14
3	2,8	1,5	4,2
6 y 8	2,8	4,65	13,02
7	2,8	2	5,6
9 y 13	2,8	1,2	3,36
10 y 12	2,8	0,8	2,24
11	2,8	1,2	3,36
14 y 33	2,8	2,13	5,964
15 y 34	2,8	3,1	8,68
16 y 35	2,8	1,4	3,92
17,22,36 y 41	2,8	3,9	10,92
18 y 37	2,8	2,45	6,86
19 y 38	2,8	0,7	1,96
20 y 39	2,8	1,2	3,36
21 y 40	2,8	1	2,8
23 y 27	2,8	1,7	4,76
24 y 26	2,8	1	2,8
25	2,8	4,3	12,04
28 y 32	2,8	1,3	3,64
29 y 31	2,8	2,55	7,14
30	2,8	1,5	4,2

Tabla 5.5.6. Tabla de cálculo de superficie portante en cada paño.

El siguiente paso es el cálculo de peso propio de cada paño de pared en una planta tipo. Este peso propio se obtiene sumando la superficie portante y la no portante y multiplicándola por la anchura del muro para obtener el volumen de obra. Una vez obtenido este volumen de obra se multiplica por su peso específico y obtenemos la carga de peso propio de cada paño.

La carga por metro cubico de mampostería se ha explicado en apartados anteriores y es de 24,3 kN/m³. Con este dato podemos extraer la siguiente tabla.

Numero pared	Superficie total (m2)	Volumen (m3)	Carga por planta (kN)
1 y 5	4,12	1,23	29,43
2 y 4	8,1	2,43	57,86
3	5,16	1,54	36,86
6 y 8	13,5	2,02	48,22
7	6,56	0,98	23,43
9 y 13	4,64	0,69	16,57
10 y 12	3,04	0,45	10,85
11	7,65	1,14	27,32
14 y 33	6,74	1,01	24,09
15 y 34	10,04	1,50	35,88
16 y 35	4,28	0,64	15,28
17,22,36 y 41	10,92	1,63	39,00
18 y 37	8,29	1,24	29,61
19 y 38	2,87	0,43	10,25
20 y 39	4,4	0,66	15,717
21 y 40	3,90	0,58	13,949
23 y 27	5,16	0,77	18,432
24 y 26	3,6	0,54	12,85
25	12,84	1,92	45,86
28 y 32	4,12	1,23	29,43
29 y 31	8,1	2,43	57,86
30	5,16	1,54	36,86

Tabla 5.5.7. Tabla de carga en Newtons en cada paño de pared de planta tipo.

Para obtener el peso total de un paño contando su altura desde la rasante hasta el punto más alto del edificio es necesario sumar la barandilla de la cubierta a los paños. En las siguientes dos tablas se calcula el peso de la barandilla y el total de cada paño.

Numero pared	Ancho (m)	Altura (m)	Longitud (m)	Volumen (m3)	Carga (kN)
1 y 5	0,3	1,1	1,9	0,62	14,93
2 y 4	0,3	1,1	3,75	1,23	29,46
3	0,3	1,1	2,7	0,89	21,21
28 y 32	0,3	1,1	1,9	0,62	14,93
29 y 31	0,3	1,1	3,75	1,23	29,46
30	0,3	1,1	1,9	0,62	14,93

Tabla 5.5.8. Tabla de carga en Newtons de las secciones de barandilla de cubierta.

Numero pared	Carga por planta planta (kN)	Numero plantas	Total plantas (N)	Carga barandilla (kN)	Total cargas máxima (kN)
1 y 5	29,43	5	147,17	14,93	162,101
2 y 4	57,86	5	289,34	29,46	318,809
3	36,86	5	184,32	21,21	205,538
6 y 8	48,22	5	241,11	0	241,116
7	23,43	5	117,16	0	117,164
9 y 13	16,57	5	82,87	0	82,872
10 y 12	10,85	5	54,29	0	54,295
11	27,32	5	136,63	0	136,632
14 y 33	24,09	5	120,45	0	120,451
15 y 34	35,88	5	179,40	0	179,408
16 y 35	15,28	5	76,44	0	76,442
17,22,36,41	39,00	5	195,03	0	195,036
18 y 37	29,61	5	148,06	0	148,063
19 y 38	10,25	5	51,25	0	51,259
20 y 39	15,71	5	78,58	0	78,586
21 y 40	13,94	5	69,74	0	69,745
23 y 27	18,43	5	92,16	0	92,160
24 y 26	12,85	5	64,29	0	64,297
25	45,86	5	229,32	0	229,328
28 y 32	29,43	5	147,17	14,93	162,101
29 y 31	57,86	5	289,34	29,46	318,809
30	36,86	5	184,32	14,93	199,251

Tabla 5.5.9. Tabla de carga en Newtons de los paños de pared desde planta primera.

Una vez tenemos la carga de cada paño necesitamos calcular la carga de peso propio de cada forjado. En la figura 5.5.7 podemos ver como se ha resuelto el cálculo de la carga de forjado de las plantas normales y de la cubierta.

Numero pared	Superficie de carga (m ²)	Carga (kN/m ²)	Carga Por forjado (kN)	Carga cubierta (KN)
1 y 5	4,2	8,805	36,98	30,24
2 y 4	9	8,805	79,24	64,80
3	6,48	8,805	57,05	46,65
6 y 8	23,36	8,805	205,68	168,19
7	14,24	8,805	125,38	102,52
9 y 13	5,57	8,805	49,04	40,10
10 y 12	3,55	8,805	31,25	25,56
11	8,89	8,805	78,27	64,00
14 y 33	5,17	8,805	45,52	37,22
15 y 34	7,98	8,805	70,26	57,45
16 y 35	3,56	8,805	31,34	25,63
17,22,36 y 41	10,31	8,805	90,77	74,23
18 y 37	6,93	8,805	61,01	49,89
19 y 38	2,4	8,805	21,13	17,28
20 y 39	3,85	8,805	33,89	27,72
21 y 40	3,56	8,805	31,34	25,63
23 y 27	5,75	8,805	50,62	41,40
24 y 26	5,35	8,805	47,10	38,52
25	14,17	8,805	124,83	102,07
28 y 32	4,55	8,805	40,06	32,76
29 y 31	9,75	8,805	85,84	70,20
30	7,02	8,805	61,81	50,54

Tabla 5.5.10. Tabla de carga por sección de forjado de planta tipo y de cubierta.

Por último efectuamos la suma de todas las cargas que se aplican en cada muro para obtener la carga total que es ejercida sobre cada paño a la altura del pie de la planta primera.

En la tabla 5.5.11. se suman las cargas de los forjados y la de los paños teniendo en cuenta tanto la barandilla, la superficie portante y la superficie no portante de cada paño.

Numero pared	Por forjado (kN)	Por muro (kN)	Total (kN)
1 y 5	178,16	162,10	340,26
2 y 4	381,78	318,80	700,58
3	274,88	205,53	480,42
6 y 8	990,93	241,11	1232,04
7	604,06	117,16	721,22
9 y 13	236,27	82,87	319,15
10 y 12	150,59	54,29	204,88
11	377,11	136,63	513,74
14 y 33	219,31	120,45	339,76
15 y 34	338,51	179,40	517,92
16 y 35	151,01	76,44	227,45
17,22,36 y 41	437,35	195,03	632,38
18 y 37	293,97	148,06	442,03
19 y 38	101,80	51,25	153,06
20 y 39	163,31	78,58	241,90
21 y 40	151,015	69,74	220,76
23 y 27	243,91	92,16	336,07
24 y 26	226,94	64,29	291,24
25	601,40	229,32	830,73
28 y 32	193,01	162,10	355,11
29 y 31	413,59	318,80	732,40
30	297,78	199,25	497,04

Tabla 5.5.11. Tabla de carga total en cada paño.

E) Cálculo final de las presiones en cada paño del muro.

Tras la suma de las cargas aplicada a cada paño se pueden calcular las presiones. Este cálculo nos da las presiones en cada planta para cada sección de muro y nos muestra que planta de la estructura sufre una mayor compresión.

En la figura 5.5.12 podemos ver la tensión que soporta un paño de pared y observaremos que la planta primera es la que más sufre y por tanto la que posiblemente sea la elegida para la aplicación de nuestro estudio.

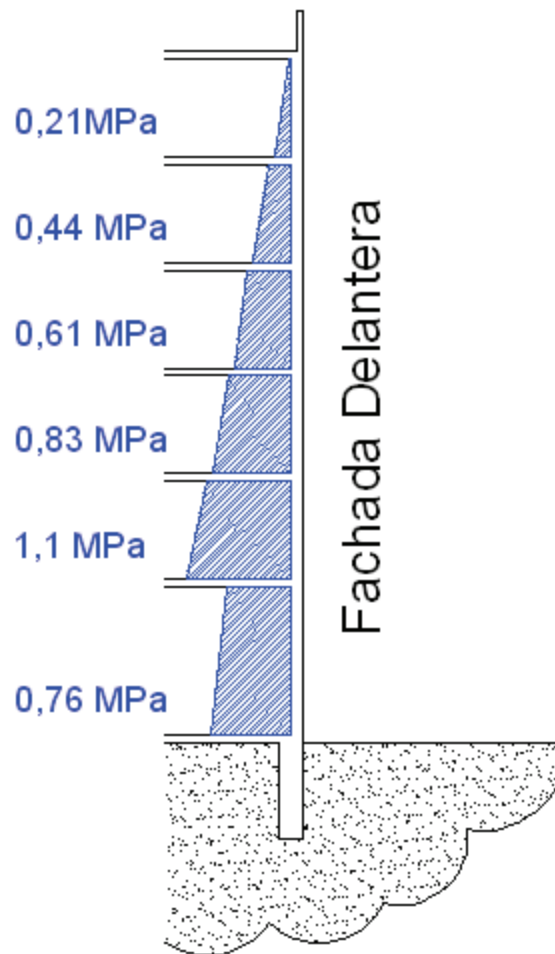


Figura 5.5.12. Esquema de tensiones aplicadas en el paño número 30 a lo largo de su altura.

En la figura anterior se podía observar la presión en el paño 30 pero no podemos asegurar que la planta primera sea realmente la planta mas cargada. Para poder afirmarlo se llevara a cabo a continuación el cálculo de presiones en todos los paños de planta primera y planta baja.

En la siguiente figura 5.5.13. se calcula la tensión en la Planta primera dividiendo la carga total de forjados y muros superiores entre la sección portante del muro.

Numero pared	Total kN	Sección portante m2	MPa
1 y 5	340,26	0,39	0,87
2 y 4	700,58	0,76	0,91
3	480,42	0,45	1,07
6 y 8	1232,04	0,69	1,77
7	721,22	0,30	2,40
9 y 13	319,15	0,18	1,77
10 y 12	204,88	0,12	1,71
11	513,74	0,18	2,85
14 y 33	339,76	0,31	1,06
15 y 34	517,92	0,46	1,11
16 y 35	227,45	0,21	1,08
17,22,36 y 41	632,38	0,58	1,08
18 y 37	442,03	0,36	1,20
19 y 38	153,06	0,10	1,46
20 y 39	241,90	0,18	1,34
21 y 40	220,76	0,15	1,47
23 y 27	336,07	0,25	1,31
24 y 26	291,24	0,15	1,94
25	830,73	0,64	1,29
28 y 32	355,11	0,39	0,91
29 y 31	732,40	0,76	0,96
30	497,04	0,45	1,10

Tabla 5.5.13. Tabla de Cargas totales y tensiones máximas en los paños de la Planta primera.

Para poder observar la diferencia de tensiones entre plantas y elegir la más cargada no nos vale solo con la tabla de la página anterior en la que se observa las altas tensiones que soportan los muros de la planta primero. Para determinar la planta de análisis compararemos la planta primera con la planta baja.

En la figura de esta página podemos ver el cálculo de la tensión en megapascals de la planta baja al dividir la carga total compuesta por las cargas de plantas superiores y de todo el paño del muro.

Numero pared	Ancho (m)	Cargas total (kN)	Mpa
1 y 5	0,6	474,12	0,61
2 y 4	0,6	970,58	0,63
3	0,6	665,21	0,74
6 y 8	0,3	1586,68	1,14
7	0,3	925,48	1,54
9 y 13	0,3	429,35	1,19
10 y 12	0,3	275,86	1,15
11	0,3	691,68	1,92
14 y 33	0,3	460,77	0,72
15 y 34	0,3	701,45	0,75
16 y 35	0,3	307,88	0,73
17,22,36 y 41	0,3	840,18	0,72
18 y 37	0,3	597,78	0,81
19 y 38	0,3	208,70	0,99
20 y 39	0,3	327,24	0,91
21 y 40	0,3	298,50	0,99
23 y 27	0,3	445,57	0,87
24 y 26	0,3	384,07	1,28
25	0,3	1100,31	0,85
28 y 32	0,6	492,05	0,63
29 y 31	0,6	1009,00	0,65
30	0,6	686,58	0,76

Tabla 5.5.14. Tabla de cargas totales y tensiones en Megapascals en los muros de planta baja.

Aunque en un principio la lógica nos lleva a pensar que la planta baja sería la más cargada, por tener que soportar al conjunto del edificio, esto no es así. La planta baja tiene muros con el doble de anchura que el resto del edificio y eso hace que las tensiones sean sensiblemente más bajas a la de las plantas superiores.

Numero pared	Ancho (m)	Longitud portante (m)	Sección portante (m2)
1 y 5	0,6	1,3	0,78
2 y 4	0,6	2,55	1,53
3	0,6	1,5	0,9
6 y 8	0,3	4,65	1,39
7	0,3	2	0,6
9 y 13	0,3	1,2	0,36
10 y 12	0,3	0,8	0,24
11	0,3	1,2	0,36
14 y 33	0,3	2,13	0,63
15 y 34	0,3	3,1	0,93
16 y 35	0,3	1,4	0,42
17,22,36 y 41	0,3	3,9	1,17
18 y 37	0,3	2,45	0,73
19 y 38	0,3	0,7	0,21
20 y 39	0,3	1,2	0,36
21 y 40	0,3	1	0,3
23 y 27	0,3	1,7	0,51
24 y 26	0,3	1	0,3
25	0,3	4,3	1,29
28 y 32	0,6	1,3	0,78
29 y 31	0,6	2,55	1,53
30	0,6	1,5	0,9

Tabla 5.5.15. Tabla de cálculo de sección portante en muro de planta baja.

A partir de la superficie de pared y de su ancho se calcula el volumen de obra de fábrica en cada paño de la planta baja. Multiplicando este volumen por el peso específico obtenemos la carga del peso propio del muro. En la siguiente figura podemos ver como se calcula la carga total en el pie de los muros de planta baja al sumar la carga de la pared de planta baja a la de las paredes y forjados superiores.

Una vez obtenida esta carga solo queda multiplicarla por la sección de cada muro y obtenemos la tensión en los diferentes paños.

Numero pared	Carga de pared (kN)	Carga plantas superiores (kN)	Cargas total (kN)	Mpa
1 y 5	96,87	377,24	474,12	0,61
2 y 4	190,75	779,83	970,58	0,63
3	127,73	537,47	665,21	0,74
6 y 8	148,95	1437,73	1586,68	1,14
7	78,87	846,60	925,48	1,54
9 y 13	61,15	368,19	429,35	1,19
10 y 12	39,72	236,14	275,86	1,15
11	99,66	592,02	691,68	1,92
14 y 33	75,48	385,28	460,77	0,72
15 y 34	113,27	588,18	701,45	0,75
16 y 35	49,08	258,80	307,88	0,73
17,22,36,41	117,02	723,16	840,18	0,72
18 y 37	94,73	503,05	597,78	0,81
19 y 38	34,50	174,19	208,70	0,99
20 y 39	51,43	275,80	327,24	0,91
21 y 40	46,40	252,10	298,50	0,99
23 y 27	58,86	386,70	445,57	0,87
24 y 26	45,72	338,35	384,07	1,28
25	144,74	955,57	1100,31	0,85
28 y 32	96,87	395,17	492,05	0,63
29 y 31	190,75	818,25	1009,00	0,65
30	127,73	558,85	686,58	0,76

Tabla 5.5.16. Tabla de cálculo de cargas y tensiones en muros de planta baja.

Por último en la tabla siguiente compararemos las tensiones de las plantas baja y primera y comprobaremos que la planta primera es la que soporta unas tensiones mayores.

Esto se puede observar claramente en la figura 5.5.17.

Numero pared	Presiones Planta Baja en Mpa	Presiones Planta primera en Mpa
1 y 5	0,61	0,87
2 y 4	0,63	0,91
3	0,74	1,07
6 y 8	1,14	1,77
7	1,54	2,40
9 y 13	1,19	1,77
10 y 12	1,15	1,71
11	1,92	2,85
14 y 33	0,72	1,06
15 y 34	0,75	1,11
16 y 35	0,73	1,08
17,22,36 y 41	0,72	1,08
18 y 37	0,81	1,20
19 y 38	0,99	1,46
20 y 39	0,91	1,34
21 y 40	0,99	1,47
23 y 27	0,87	1,31
24 y 26	1,28	1,94
25	0,85	1,29
28 y 32	0,63	0,91
29 y 31	0,65	0,96
30	0,76	1,10

Tabla 5.5.17. Tabla de comparativa de tensiones entre planta baja y planta primera.

Podemos observar que todos y cada uno de los paños de la planta primera están sensiblemente más comprimidos que los paños de planta baja. Por tanto los paños seleccionados para el cálculo de la seguridad de las cargas a compresión son los de la planta primera.

5.6. Cálculos resistentes

5.6.1 Introducción

En este capítulo acometeremos el cálculo principal de los muros sometidos principalmente a cargas verticales de nuestro objeto de análisis.

Aunque en este trabajo se han calculado todas y cada una de las paredes del edificio, en este apartado incluiremos solo los cálculos de la planta primera. Esta decisión se ha tomado por dos razones importantes. La primera es el carácter repetitivo de los cálculos que según m opinión con un ejemplo ya queda claro totalmente el sistema de cálculo. La segunda es la falta de espacio en este documento para describir los cálculos de los 244 paños que componen el edificio.

Todas las acciones consideradas en este capítulo son de naturaleza gravitatoria, por lo que nos referimos a esta combinación con el nombre de “*acción vertical*”.

El objetivo de este capítulo es sentar las bases fundamentales del dimensionado de los “*muros de carga*”, debido a que, para este tipo de muros, la acción vertical constituye la combinación fundamental que condiciona la validez de su capacidad portante.

El proceso general de verificación de los muros de carga se desarrolla en el artículo 5.2 “*Muros sometidos predominantemente a carga vertical*” del Documento Básico “*Seguridad Estructural: Fábrica*” (en adelante DB SE-F). El procedimiento consiste, esencialmente, en comparar la capacidad resistente de las secciones más significativas del muro, con el estado de sollicitaciones ante la combinación de cargas.

La condición de verificación de la capacidad portante de un muro de carga es:

$$NSd \leq NRd \text{ (DB SE-F artículo 5.2.3 párrafo 1)}$$

donde:

NSd es el valor de cálculo de la sollicitación.

NRd es el valor de cálculo de la capacidad resistente deducido de las propiedades del material.

Este estudio seguirá el mismo método paso a paso que recomienda el DB SE-F para el dimensionado de obra de fábrica no reforzada nueva. El DB SE-F facilita el cálculo de los muros mediante la simplificación del pórtico rígido.

Esto se refleja en el planteamiento de una estructura constituida por elementos de profundidad unidad, en la cual los muros y los forjados se sustituyen por barras con sus mismas características geométricas y de deformación, formando pórticos que idealizan la estructura para su cálculo utilizando modelos planos.

En nuestro ejemplo de cálculo se ha seleccionado el muro 7 de la planta primera para la aplicación de la normativa.

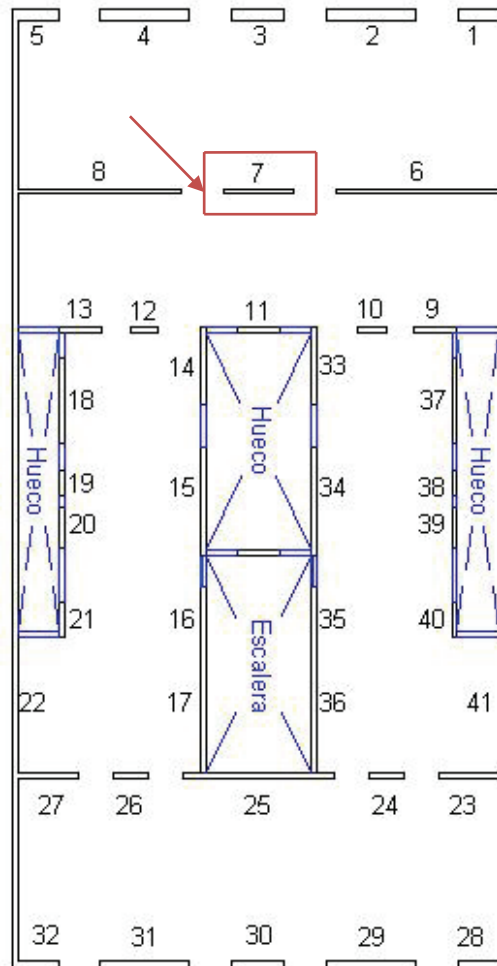


Figura 5.6.1 Muro seleccionado para el ejemplo de cálculo.

5.6.2. Cálculo del momento en el nudo

El primer paso del cálculo es averiguar el momento que soporta el muro debido a las cargas de los forjados considerando la combinación más desfavorable.

La operación de cálculo del momento es la siguiente.

$$M = (M_{emp,i} - M_{emp,j}) \cdot K / K_T$$

Siendo:

$M_{emp,i}$ $M_{emp,j}$ los momentos de empotramiento perfecto del forjado a uno y otro lado, uno con la carga total y otro con sólo la permanente, lo que sea peor.

K la suma de las rigideces de los tramos de muros en cuestión, cada uno igual a $4EI/h$.

Donde:

E es el módulo de elasticidad del muro.

I es el momento de inercia del muro; el de la hoja portante si hay otra que no lo es.

h es la altura libre del paño.

K_T la suma de rigideces de las piezas que concurren en el nudo analizado; para las de forjado se tomará nEI/L

donde:

n es 3 si el nudo opuesto es de fachada, 4 si es interior, 0 si es un vuelo.

EI es la rigidez del forjado.

L es la luz libre del forjado.

En nuestro caso particular del muro 7 los datos necesarios de las características del nudo son los siguientes. Distinguiremos los forjados de calle como aquellos que están en el lado del muro correspondiente a la fachada que da a la calle y a los forjados de patio a aquellos que están en el lado del muro que corresponde a la fachada del patio interior de manzana.

Sección del muro: 150mm

Inercia del muro: $(1/12) \times (\text{Sección de muro})^3 = 0,00225 \text{ m}^4$

Modulo elástico del muro superior: $1,3 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$

Altura libre de forjado superior: 2,7 m

Modulo elástico del muro inferior: $11,3 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$

Altura libre de inferior: 2,7 m

Inercia del forjado: 0,0000428 m⁴

Modulo elástico del forjado de calle: $2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$

Modulo elástico del forjado de patio: $2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$

Valor n= 4

Con estos datos podemos calcular la suma de las rigideces de los tramos de muros con un resultado de $K= 8 \cdot 10^6$ y la suma de rigideces de las piezas que concurren en el nudo analizado con un valor de $KT= 1,58 \cdot 10^7$.

El cálculo del momento en el nudo será el siguiente:

$$M = (M_{emp,i} - M_{emp,j}) \cdot K / K_T$$

$$M_{emp,i} = (q_1 \cdot l_1^2) / 12$$

$$M_{emp,j} = (q_2 \cdot l_2^2) / 12$$

Donde:

q₁ es la carga distribuida en el forjado de calle y tiene un valor de 6930 N/m.

q₂ es la carga distribuida en el forjado de patio y tiene un valor de 3870 N/m.

L es la luz de cada forjado siendo **L₁**= 3,875 m y **L₂**= 4,8m.

El momento **M** resultante es de 88,6288 N · m.

Como la unión entre el muro y el forjado no es perfectamente rígida, si la tensión vertical de cálculo media en el grueso total del muro es menor que 0,25 N/mm², los momentos obtenidos anteriormente se pueden reducir por un coeficiente **C**, de valor:

$$C = (1 - k/4) > 0,50$$

Donde:

K es la relación de la suma de las rigideces a flexión de los forjados a la de los muros.

Como nuestro muro soporta una tensión de 2,4 N/mm² q es muy superior al valor máximo de 0,25 N/mm² precisado por la normativa, no podremos reducir nuestro momento por el parámetro **C**.

5.6.3. Primera comprobación de capacidad portante.

Según la normativa de DB SE-F Si la excentricidad obtenida a partir de los momentos de puntos anteriores es mayor que 0,4 del espesor, o la tensión vertical de cálculo media es inferior a 0,25 N/mm² (suele presentarse en los nudos superiores) la reacción de los muros puede obtenerse *directamente por capacidad* como la que corresponde a la amplitud del bloque comprimido que equilibra el esfuerzo normal de cálculo mediante una tensión no superior a la resistencia de cálculo del material.

El cálculo de esta excentricidad se llevara a cabo de la siguiente manera.

$$e = M/N$$

Donde:

M es el momento calculado en el apartado anterior.

N es la carga de compresión ejercida en el muro por los forjados y muros superiores.

En nuestro muro numero 7 los datos son los siguientes.

$$N = 46865,952 \text{ N}$$

$$M = 88,6288 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$e = 0,06 \text{ m}$$

El 40% de la anchura de nuestro muro de 150 mm es de 60 mm, por tanto es igual y no mayor a ese 40% de la sección.

Tampoco se cumple que la tensión de compresión sea menor que 0,25N/mm² por lo que no podremos hacer una comprobación directa por capacidad y deberemos continuar con el siguiente paso de la normativa.

5.6.4. Segunda comprobación de capacidad portante

Como se ha comentado antes la condición para la verificación de la capacidad portante de un muro de carga es:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} \text{ (DB SE-F artículo 5.2.3 párrafo 1)}$$

Donde:

N_{Sd} es el valor de cálculo de la solicitación.

N_{Rd} es el valor de cálculo de la capacidad resistente deducido de las propiedades del material.

En esta segunda comprobación se tienen en cuenta efectos de segundo orden introducidos por las excentricidades provocadas por las cargas del apartado anterior. A estas excentricidades se le sumaran los incrementos siguientes:

- Un primer incremento “ea” que representa el efecto de las imperfecciones de ejecución. Este término se denomina *“incremento de excentricidad por ejecución”* y debe sumarse a la excentricidad debida a las cargas en todas las secciones, excepto en las que se han analizado por capacidad.
- Otro incremento “ep” denominado *“excentricidad debida a pandeo”* que representa los efectos de segundo orden, propiamente dichos, y que debe sumarse sólo a la excentricidad de las secciones centrales.

Ambos incrementos de excentricidad dependen de la altura de cálculo del muro, es decir de la altura a considerar a efectos de introducir los efectos de segundo orden. El procedimiento simplificado de obtención de la altura de cálculo se establece en el artículo 5.2.5 del DB SE-F; y el procedimiento general, en el Anejo E del citado documento.

A continuación trataremos el procedimiento del Anejo E del DB SE-F aplicado a los casos habituales.

La altura de cálculo del muro "*hd*" depende fundamentalmente de sus condiciones de coacción en los extremos, de la eficacia de los muros transversos actuando como elementos de arriostramiento, y de la excentricidad de la carga en cabeza. Todas estas variables se representan mediante un único factor "*p*" que reduce la altura real del muro a efectos de considerar su "*altura de cálculo*".

En general, la altura de cálculo *hd* de un muro puede tomarse igual a:

$$hd = pn \cdot h$$

donde:

hd es la altura de cálculo del muro.

pn es un factor de reducción, con $n = 2, 3$ ó 4 , según el número de bordes arriostrados.

h es la altura libre del muro.

En las situaciones habituales, en los que los muros de carga están flanqueados por fachadas y/o muros transversos a ambos lados, el muro presenta cuatro bordes arriostrados, por lo que se debe obtener el factor p_4 . Pueden presentarse, a su vez, dos casos diferentes:

- Si $h > 1,15 \cdot L$:

$$p_4 = 0,5 \cdot L / h$$

donde:

L es la distancia entre ejes de los muros de arriostramiento.

- si $h \leq 1,15 \cdot L$:

$$p_4 = p_2 / [1 + (p_2 \cdot h / L)^2]$$

donde:

$p_2 = 0,75$ si la excentricidad de la carga en cabeza es igual o menor de $0,25 \cdot t$

$p_2 = 1,00$ si la excentricidad de la carga en cabeza es mayor de $0,25 \cdot t$

Existe una limitación para la longitud de los muros arriostrados, igual a 30 veces su espesor, si el arriostramiento existe en los dos bordes verticales; y 15 veces su espesor, si sólo existe en uno de los bordes. De manera que, si la longitud de los muros es superior a los valores indicados, aunque existan muros transversos, éstos no pueden considerarse a efectos de arriostramiento, y los cálculos deben hacerse con p_2 .

De las expresiones anteriores se deduce que, siempre que existan muros de arriostramiento a distancias suficientemente próximas, la altura de cálculo del muro arriostrado por ellos, no depende de su altura real, sino que depende de la distancia entre los muros transversales.

En nuestro caso de estudio no se aplican las expresiones anteriores ya que no podemos asegurar que la unión entre los muros este correctamente confeccionada y se transmitan de forma correcta las tensiones. Debido a esto, y a la gran distancia entre muros transversales que supera en la gran mayoría de los muros la limitación de una distancia menor o igual a 30 veces su espesor, podemos asegurar que la altura de cálculo es la misma que la altura libre entre forjados.

La “*excentricidad por ejecución*” se calcula mediante las siguientes expresiones, definidas en el artículo 5.4.2 del DB SE-F:

Categoría de ejecución A: $ea = hd / 500$

Categoría de ejecución B: $ea = hd / 450$

Categoría de ejecución C: $ea = 20 \text{ mm}$

donde:

ea es la excentricidad por imperfecciones de ejecución.

hd es la altura de cálculo del muro.

En nuestro caso la categoría seleccionada para los cálculos de la excentricidad por ejecución ha sido la categoría de ejecución B. Esta elección ha sido tomada por la experiencia que tenían los trabajadores que ejecutaron la construcción tras haber ejecutado muchas similares y que nos da cierta garantía de una correcta colocación de las piezas que constituyen el paño.

Por tanto en la pared número 7 que estamos evaluando y que tiene una altura de cálculo de 2,7 metros podemos considerar una excentricidad por ejecución de:

$$2,7/500 = \mathbf{0,006 \text{ metros.}}$$

El incremento de excentricidad por pandeo debe aplicarse únicamente a las secciones centrales. Su valor depende fundamentalmente de la esbeltez, definida mediante la siguiente relación:

$$\lambda = hd / t$$

donde:

λ es la esbeltez del muro (no se permite superior a 27).

hd es la altura de cálculo del muro.

t es el espesor de cálculo del muro (en muros de una hoja es el espesor real, “t”).

En nuestro caso el valor de esbeltez es de $2,7/0,15 = \mathbf{18}$.

A partir de los valores de excentricidad en las secciones significativas del muro (secciones de cabeza, base, y sección central), incrementadas por los efectos de segundo orden, debe procederse a realizar la comprobación definitiva según la siguiente fórmula que nos entrega la norma CTE:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} ; \text{ siendo } N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d$$

donde:

N_{Sd} es el valor de cálculo del esfuerzo normal por unidad de longitud de muro

N_{Rd} es el valor de la capacidad resistente de la sección por unidad de longitud.

Φ es el factor reductor de la capacidad resistente por excentricidad y esbeltez

t es el espesor del muro.

f_d es el valor de cálculo de la resistencia a compresión de la fábrica.

El factor reductor según el apartado 5.2.4 del DB SE-F se calcula mediante las siguientes expresiones.

$$\text{Secciones de cabeza } \Phi = 1 - 2 \cdot e / t$$

$$\text{Secciones centrales } \Phi = 1 - 2 \cdot e / t$$

$$\text{Secciones de base } \Phi = 1 - 2 \cdot e / t - 2 \cdot a / t$$

donde:

Φ es el factor reductor de la capacidad resistente en la cabeza o en la base del muro

$e = M/N + e_a + e_p$ es la excentricidad total de la carga con $M/N + e_a \geq 0,05 \cdot t$.

siendo:

M, N el momento flector y esfuerzo normal procedentes de la carga.

e_a el incremento de excentricidad por ejecución

e_p el incremento de excentricidad por pandeo

En nuestro caso de estudio del muro 7 el factor reductor se calcula con los siguientes datos:

En la cabeza del muro:

ea = 0,006 metros.

M = 88,62 N·m.

N = la suma de la carga de los paños superiores (46865,952 N) y la de los forjados que están sobre la cabeza del muro (302030,4 N).

Por tanto:

$$e = M/N + ea = 0,006254026 \text{ metros}$$

Y tras obtener la excentricidad en la cabeza podemos calcular el factor reductor de la siguiente manera.

$$\Phi = 1 - 2 \cdot e / t$$

Siendo:

t el ancho del muro que en el caso del muro 7 es de **0,15** metros.

El factor **Φ** será de 0,916612983 en la cabeza del muro.

Al pie del muro :

ea = 0,006 metros.

M = 88,62 N·m.

N = la suma de la carga de los paños superiores (58582,44 N) y la de los forjados que están sobre la cabeza del muro (302030,4 N).

Por tanto:

$$e = M/N + ea = 0,006122886 \text{ metros}$$

Y tras obtener la excentricidad en la base podemos calcular el factor reductor de la siguiente manera.

$$\Phi = 1 - 2 \cdot e / t$$

Siendo:

t el ancho del muro que en el caso del muro 7 es de **0,15** metros.

El factor **Φ** será de 0,918361514 en el pie del muro.

En la parte central del muro:

ea = 0,006 metros.

ep = $0,00035 \cdot t \cdot \lambda^2 = 0,01701$ metros.

M = 88,62 N·m.

N = la suma de la carga de los paños superiores (52724,196 N) y la de los forjados que están sobre la cabeza del muro (302030,4 N).

Por tanto:

$$e = M/N + ea + ep = 0,023072458 \text{ metros}$$

Y tras obtener la excentricidad en la base podemos calcular el factor reductor de la siguiente manera.

$$\Phi = 1 - 2 \cdot e / t$$

Siendo:

t el ancho del muro que en el caso del muro 7 es de **0,15** metros.

El factor **Φ** será de 0,692367229 en el pie del muro.

Con todos los cálculos vistos anteriormente ya podemos calcular la resistencia del paño a la compresión ejercida por las cargas verticales del propio paño y de los muros y forjados superiores.

Por tanto y según la fórmula que hemos visto anteriormente:

$$NRd = \Phi \cdot t \cdot f_d$$

Podemos resolver que en el muro 7 de la planta primera la resistencia del muro es:

En cabeza:

$$t = 0,15 \text{ metros}$$

$$\Phi = 0,916612983$$

$F_d = 2950000 \text{ N/m}^2$, obtenido seleccionando el valor máximo de 4000000 N/m^2 en la tabla C8A.2.1 de la normativa italiana y aplicándole el factor de confianza $FC = 1,35$.

Con estos datos podemos resolver que la resistencia a compresión en la cabeza del muro es de **405,60 kN**.

En la base del muro:

$$t = 0,15 \text{ metros}$$

$$\Phi = 0,918361514$$

$$F_d = 2,95 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

Con estos datos podemos resolver que la resistencia a compresión en la base del muro es de **406,375 kN**.

En el centro del muro:

$$t = 0,15 \text{ metros}$$

$$\Phi = 0,692367229$$

$$F_d = 2950000 \text{ N/m}^2$$

Con estos datos podemos resolver que la resistencia a compresión al pie del muro es de **306,372 kN**.

En este momento podemos ya verificar finalmente la resistencia del muro mediante la ya comentada anteriormente comparación entre la capacidad resistente y la sollicitación a compresión del muro.

$$N_{sd} \leq N_{Rd} \text{ (DB SE-F artículo 5.2.3 párrafo 1)}$$

N_{sd} es diferente para cada parte del muro, ya que aunque la carga por los forjados superiores es la misma y la del propio paño en plantas superiores tampoco varía, la carga del peso propio de la porción de paño de la planta evaluada crece a medida que nos acercamos al pie.

Siguiendo esta premisa obtenemos los siguientes datos:

N_{sd} en cabeza = 348,896 kN.

N_{sd} en base = 360,612 kN.

N_{sd} central = 354,754 kN.

Con estos datos podemos comparar N_{sd} y N_{Rd} y así obtener el factor de seguridad en el muro.

En cabeza:

$$N_{sd} (348896,352 \text{ Newtons}) < N_{Rd} (405601,2449 \text{ Newtons})$$

Con un factor de seguridad de $N_{Rd}/N_{sd} = \mathbf{1,1625}$

En la base:

$$N_{sd} (360612,84 \text{ Newtons}) < N_{Rd} (406374,9701 \text{ Newtons})$$

Con un factor de seguridad de $N_{Rd}/N_{sd} = \mathbf{1,1269}$

En el centro:

$$N_{sd} (354754,596 \text{ Newtons}) > N_{Rd} (306372,4987 \text{ Newtons})$$

Con un factor de seguridad de $N_{Rd}/N_{sd} = \mathbf{0,8636}$

Por tanto la cabeza y el pie verifican la seguridad pero el centro del muro no.

5.6.5. Tabla de cálculo utilizada para los cálculos del trabajo

Muro 7					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	2	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4 y 3		Carga forjados	302030,4	N
Carga pie muro	58582,44	N	Carga cabeza muro	46865,952	N
Carga centro muro	52724,196				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	3,2	m
Luz forjado calle	3,875	m	Luz forjado patio	4,8	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0,0000428	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	15559562,72				
Momento	88,62884297	Nm	M cor	88,62884297	Nm
Carga total	7730	N/m2	e	0,001891114	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	44,31442148	Nm	Momento central	22,15721074	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	405601,2449	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,916612983		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	406374,9701	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,918361514		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	306372,4987	N	t	0,15	m
Φ central	0,692367229		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,006254026		e(inferior)	0,006122886	
e(central)	0,023072458		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	405601,2449	406374,9701	306372,4987
NSd	348896,352	360612,84	354754,596
Verificación	Verificado	Verificado	No Verifica
Factor seguridad	1,162526471	1,126901	0,863618124

5.6. Resultados

En el apartado anterior se ha explicado el cálculo llevado a cabo en este trabajo y se ha ejemplificado en el muro 7 de la planta primera. En este apartado de resultados se mostrarán los resultados del valor de cálculo del esfuerzo normal (NSd) y del valor de la capacidad resistente de la sección (NRd) por unidad de longitud.

También se verán los factores de seguridad de cada tramo del muro para los tres valores de resistencia que hemos seleccionado de la tabla C8A.2.1 de la normativa italiana y aplicándole el factor de confianza $FC = 1,35$.

En este apartado solo se verán los resultados de la planta primera ya que es la más solicitada. El resto de cálculos y resultados de este trabajo se verán en el anejo A.

Como se ha explicado en apartados anteriores los valores de resistencia elegidos para las comprobaciones han sido 3 que tras ser reducidos por el $FC = 1,35$ tienen los siguientes valores: 1,8MPa, 2,37MPa y 2,95 MPa

El primer apartado de resultados compara los factores de seguridad de planta baja de las tres resistencias seleccionadas en el estudio.

En el segundo apartado se representarán los resultados del apartado primero mediante unos gráficos esquemáticos de la planta primera con los tres valores de resistencia seleccionados.

En el tercer y último apartado se comparan de forma tabulada la seguridad en todas las plantas de los paños estudiados.

5.6.1 Resultados de planta primera

En la tabla 5.6.1.1 se muestran los factores de seguridad de la planta primera con una resistencia a compresión de la fábrica de 1,8 MPa. Los factores de seguridad se muestran en coronación, centro y pie del paño, el factor global del muro es el más inseguro de los tres. El color rojo es para los valores entre 0 y 1, el color calabaza indica los valores entre 1 y 2 y el color verde es para los FC mayores que 2.

Planta 1 1,80 MPa				
Muro	FS Coronación	FS Pie	FS Centro	Seguridad
1 y 5	1,82	1,83	1,85	1,82
2 y 4	1,743	1,75	1,78	1,74
3	1,75	1,61	1,58	1,58
6 y 8	0,97	0,93	0,71	0,71
7	0,71	0,68	0,52	0,52
9 y 13	0,95	0,91	0,71	0,71
10 y 12	0,98	0,95	0,74	0,74
11	0,60	0,57	0,44	0,44
14 y 33	1,60	1,55	1,22	1,22
15 y 34	1,48	1,43	1,13	1,13
16 y 35	1,48	1,46	1,15	1,15
17,22,36 y 41	1,35	1,41	1,12	1,12
18 y 37	1,38	1,33	1,05	1,05
19 y 38	1,15	1,10	0,87	0,87
20 y 39	1,24	1,19	0,94	0,94
21 y 40	1,13	1,09	0,86	0,86
23 y 27	0,95	0,92	0,74	0,74
24 y 26	0,80	0,81	0,63	0,63
25	1,16	1,19	0,94	0,94
28 y 32	1,67	1,73	1,77	1,67
29 y 31	1,60	1,65	1,68	1,60
30	1,42	1,45	1,46	1,42

FS < 1	1 < FS < 2	FS > 2
--------	------------	--------

Tabla 5.6.1.1 Tabla de factores de seguridad planta primera y Fd 1,80MPa

En la tabla 5.6.1.2. se muestran los factores de seguridad de la planta primera con una resistencia a compresión de la fábrica de 2,37 MPa. Los factores de seguridad se muestran en coronación, centro y pie del paño, el factor global del muro es el más inseguro de los tres.

Planta 1 2,37 MPa				
Muro	FS Coronación	FS Pie	FS Centro	Seguridad
1 y 5	2,40	2,41	2,44	2,40
2 y 4	2,29	2,31	2,34	2,29
3	2,30	2,13	2,08	2,08
6 y 8	1,28	1,23	0,94	0,94
7	0,93	0,90	0,69	0,69
9 y 13	1,25	1,21	0,94	0,94
10 y 12	1,30	1,25	0,97	0,97
11	0,79	0,75	0,58	0,58
14 y 33	2,10	2,04	1,61	1,61
15 y 34	1,95	1,89	1,49	1,49
16 y 35	1,95	1,92	1,52	1,52
17,22,36 y 41	1,78	1,85	1,48	1,48
18 y 37	1,81	1,75	1,38	1,38
19 y 38	1,51	1,45	1,14	1,14
20 y 39	1,63	1,57	1,24	1,24
21 y 40	1,49	1,44	1,13	1,13
23 y 27	1,25	1,21	0,97	0,97
24 y 26	1,06	1,07	0,83	0,83
25	1,52	1,57	1,24	1,24
28 y 32	2,21	2,28	2,33	2,21
29 y 31	2,11	2,18	2,22	2,11
30	1,88	1,91	1,93	1,88

FS < 1	1 < FS < 2	FS > 2
--------	------------	--------

Tabla 5.6.1.2. Tabla de factores de seguridad planta primera y Fd 2,37MPa

En la tabla 5.6.1.3. se muestran los factores de seguridad de la planta primera con una resistencia a compresión de la fábrica de 2,95 MPa. Los factores de seguridad se muestran en coronación, centro y pie del paño, el factor global del muro es el más inseguro de los tres.

Planta 1 2,95 MPa				
Numero de pared	FS Coronación	FS Pie	FS Centro	Seguridad
1 y 5	2,80	2,93	3,02	2,80
2 y 4	2,70	2,81	2,88	2,70
3	2,87	2,65	2,59	2,59
6 y 8	1,59	1,53	1,17	1,17
7	1,16	1,12	0,86	0,86
9 y 13	1,52	1,49	1,16	1,16
10 y 12	1,58	1,54	1,20	1,20
11	0,97	0,93	0,72	0,72
14 y 33	2,50	2,49	1,98	1,98
15 y 34	2,33	2,31	1,83	1,83
16 y 35	2,28	2,33	1,86	1,86
17,22,36 y 41	1,97	2,20	1,78	1,78
18 y 37	2,17	2,15	1,70	1,70
19 y 38	1,82	1,78	1,41	1,41
20 y 39	1,96	1,93	1,52	1,52
21 y 40	1,80	1,77	1,39	1,39
23 y 27	1,44	1,46	1,18	1,18
24 y 26	1,24	1,29	1,02	1,02
25	1,72	1,88	1,51	1,51
28 y 32	2,56	2,76	2,86	2,56
29 y 31	2,47	2,64	2,72	2,47
30	2,21	2,32	2,37	2,21

FS < 1	1 < FS < 2	FS > 2
--------	------------	--------

Tabla 5.6.1.3. Tabla de factores de seguridad planta primera y Fd 2,95 MPa

A continuación se muestra la tabla 5.6.1.4 donde se pueden observar, para cada muro de la planta primera y para cada una de las resistencias impuestas, el factor de seguridad más restrictivo de cada paño.

	Planta 1 1,8 MPa	Planta 1 2,37 MPa	Planta 1 2,95 MPa
Muro	Seguridad	Seguridad	Seguridad
1 y 5	1,82	2,40	2,80
2 y 4	1,74	2,29	2,70
3	1,58	2,08	2,59
6 y 8	0,71	0,94	1,17
7	0,52	0,69	0,86
9 y 13	0,71	0,94	1,16
10 y 12	0,74	0,97	1,20
11	0,44	0,58	0,72
14 y 33	1,22	1,61	1,98
15 y 34	1,13	1,49	1,83
16 y 35	1,15	1,52	1,86
17,22,36 y 41	1,12	1,48	1,78
18 y 37	1,05	1,38	1,70
19 y 38	0,87	1,14	1,41
20 y 39	0,94	1,24	1,52
21 y 40	0,86	1,13	1,39
23 y 27	0,74	0,97	1,18
24 y 26	0,63	0,83	1,02
25	0,94	1,24	1,51
28 y 32	1,67	2,21	2,56
29 y 31	1,60	2,11	2,47
30	1,42	1,88	2,21

FS < 1	1 < FS < 2	FS > 2
--------	------------	--------

Tabla 5.6.1.4 Tabla de comparación de FS entre resistencias en planta 1.

5.6.2 Gráficos de resultados en planta primera

En las siguientes figuras se puede observar de forma sencilla y grafica que elementos estructurales son muy seguros (color verde), seguros (color amarillo) e inseguros (color rojo).

La primera figura 5.6.2.1 muestra los resultados de la planta primera con una resistencia de diseño de la fábrica de 1,8 MPa.

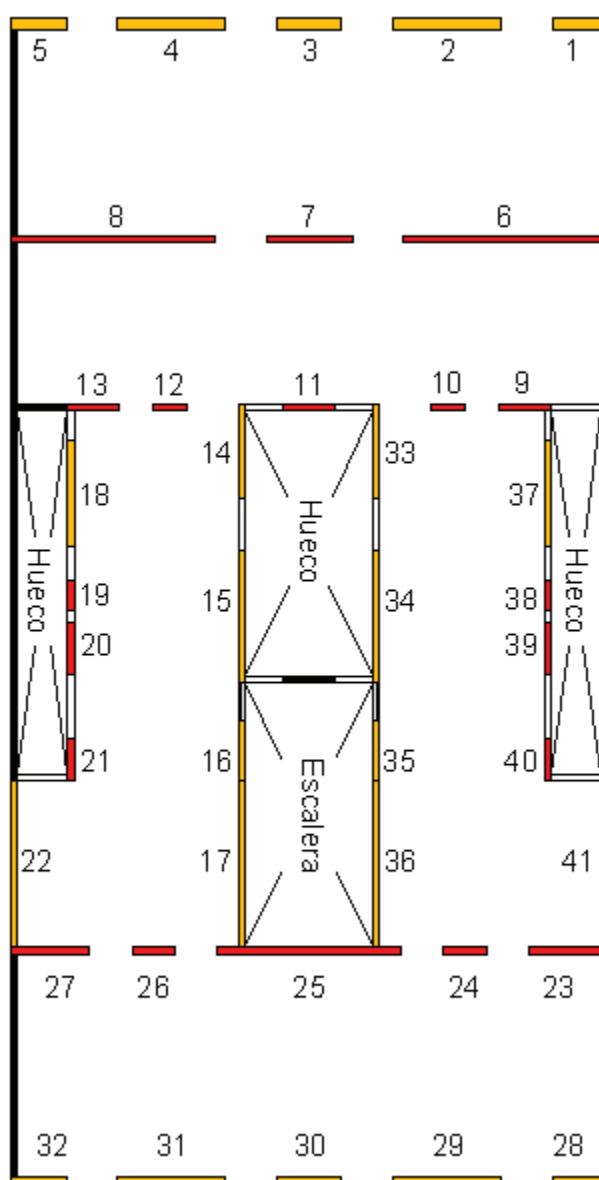


Figura 5.6.2.1. Grafico de resultados planta primera, Fd 1,8 MPa.

La primera figura 5.6.2.2 muestra los resultados de la planta primera con una resistencia de diseño de la fábrica de 2,37 MPa.

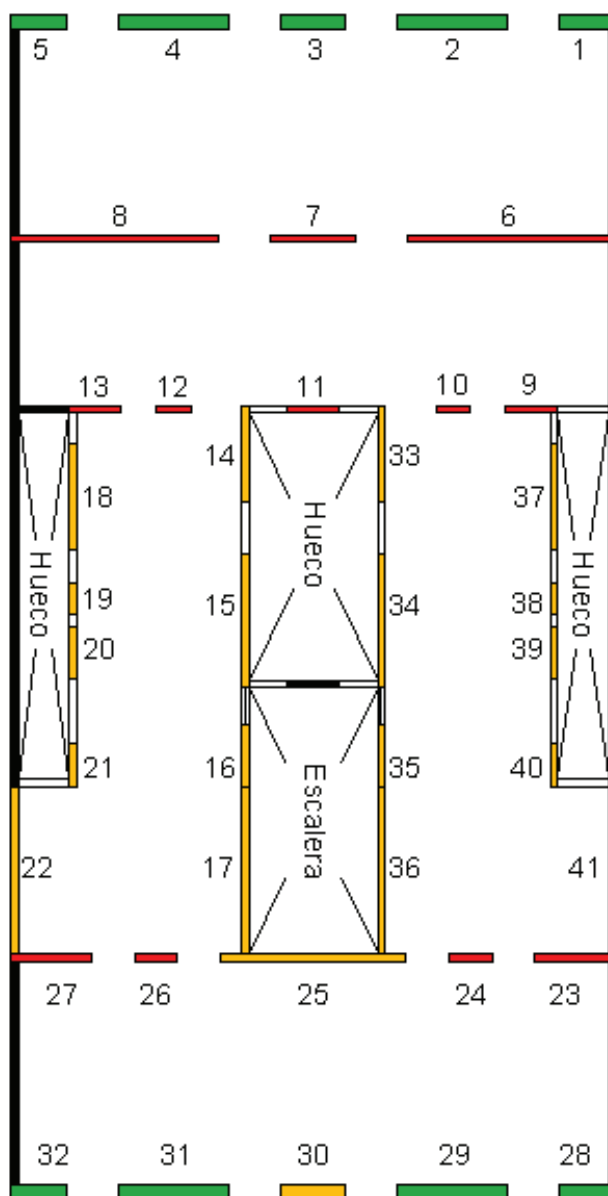


Figura 5.6.2.2. Grafico de resultados planta primera, Fd 2,37 MPa.

La primera figura 5.6.2.3. muestra los resultados de la planta primera con una resistencia de diseño de la fábrica de 2,95 MPa.

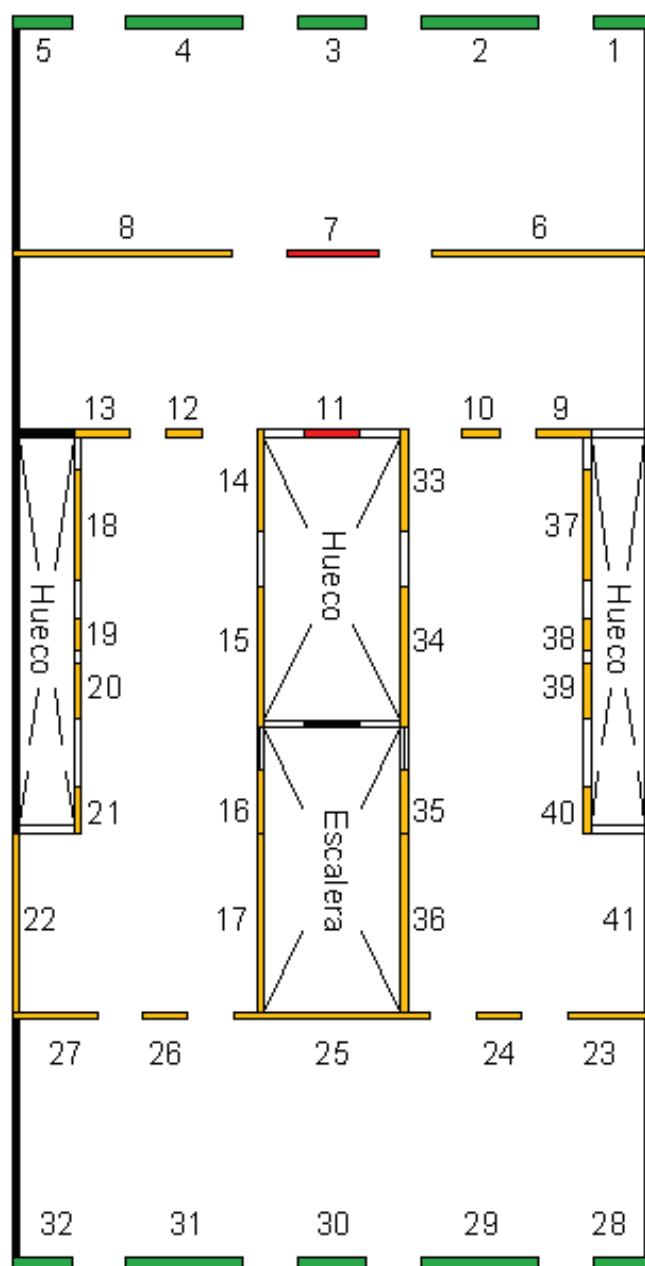


Figura 5.6.2.3. Grafico de resultados planta primera, Fd 2,95 MPa.

5.6.3 Resultados en todas las plantas

En la figura 5.6.3.1 se muestran los factores de seguridad, de cada paño y para cada planta, para la resistencia de diseño de la obra de fabrica $F_d = 1,8\text{MPa}$.

Muro	Planta baja	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5
1 y 5	2,71	1,82	2,03	2,42	2,56	7,77
2 y 4	2,61	1,74	1,95	2,34	2,56	7,52
3	2,36	1,58	1,99	2,66	3,91	7,42
6 y 8	1,33	0,71	0,91	1,24	1,94	4,52
7	0,97	0,52	0,67	0,91	1,42	3,27
9 y 13	1,27	0,71	0,90	1,21	1,88	4,53
10 y 12	1,32	0,74	0,93	1,26	1,95	4,71
11	0,80	0,44	0,56	0,76	1,19	2,85
14 y 33	2,15	1,22	1,52	2,04	3,10	7,90
15 y 34	1,99	1,13	1,41	1,89	2,89	7,31
16 y 35	2,04	1,15	1,42	1,90	2,71	7,32
17,22,36,41	1,87	1,12	1,35	1,55	1,12	6,84
18 y 37	1,86	1,05	1,31	1,76	2,69	6,76
19 y 38	1,53	0,87	1,09	1,47	2,26	5,62
20 y 39	1,67	0,94	1,17	1,58	2,43	6,05
21 y 40	1,52	0,86	1,07	1,45	2,23	5,52
23 y 27	1,27	0,74	0,91	1,21	1,47	4,75
24 y 26	1,14	0,63	0,78	1,04	1,46	3,88
25	1,66	0,94	1,15	1,44	1,35	5,76
28 y 32	2,59	1,67	1,82	2,08	1,86	6,06
29 y 31	2,49	1,60	1,76	2,04	1,96	6,15
30	2,17	1,42	1,61	1,93	2,10	6,18

FS < 1	1 < FS < 2	FS > 2
--------	------------	--------

Tabla 5.6.3.1 Tabla de Factores de seguridad en todo el edificio con $F_d = 1,8\text{ MPa}$

En la figura 5.6.3.2 se muestran los factores de seguridad, de cada paño y para cada planta, para la resistencia de diseño de la obra de fabrica $F_d = 2,37 \text{ MPa}$.

Muro	Planta baja	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5
1 y 5	3,57	2,40	2,67	3,18	3,37	10,23
2 y 4	3,43	2,29	2,57	3,08	3,37	9,90
3	3,11	2,08	2,62	3,50	5,15	9,78
6 y 8	1,75	0,94	1,20	1,63	2,56	5,95
7	1,28	0,69	0,88	1,19	1,87	4,31
9 y 13	1,68	0,94	1,18	1,60	2,47	5,97
10 y 12	1,74	0,97	1,22	1,66	2,57	6,21
11	1,05	0,58	0,74	1,00	1,57	3,75
14 y 33	2,84	1,61	2,0	2,69	4,08	10,40
15 y 34	2,63	1,49	1,85	2,49	3,80	9,62
16 y 35	2,68	1,52	1,87	2,50	3,57	9,64
17,22,36, 41	2,47	1,48	1,78	2,04	1,48	9,00
18 y 37	2,44	1,38	1,72	2,32	3,54	8,90
19 y 38	2,02	1,14	1,43	1,93	2,97	7,40
20 y 39	2,19	1,24	1,54	2,08	3,20	7,97
21 y 40	2,01	1,13	1,41	1,91	2,93	7,27
23 y 27	1,67	0,97	1,20	1,60	1,94	6,26
24 y 26	1,50	0,83	1,03	1,37	1,92	5,11
25	2,19	1,24	1,51	1,89	1,78	7,58
28 y 32	3,42	2,21	2,39	2,73	2,45	7,98
29 y 31	3,28	2,11	2,32	2,69	2,58	8,10
30	2,86	1,88	2,12	2,54	2,76	8,13

FS < 1	1 < FS < 2	FS > 2
--------	------------	--------

Tabla 5.6.3.2 Tabla de Factores de seguridad en todo el edificio con $F_d = 2,37 \text{ MPa}$

En la figura 5.6.3.3 se muestran los factores de seguridad, de cada paño y para cada planta, para la resistencia de diseño de la obra de fabrica $F_d = 2,95 \text{ MPa}$.

Muro	Planta baja	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5
1 y 5	4,45	2,80	3,33	3,96	4,20	12,73
2 y 4	4,27	2,70	3,20	3,84	4,19	12,32
3	3,87	2,59	3,26	4,36	6,41	12,17
6 y 8	2,17	1,17	1,49	2,03	3,18	7,40
7	1,60	0,86	1,09	1,49	2,32	5,36
9 y 13	2,09	1,16	1,47	1,99	3,08	7,43
10 y 12	2,17	1,20	1,52	2,06	3,19	7,72
11	1,31	0,72	0,92	1,25	1,95	4,67
14 y 33	3,53	1,98	2,49	3,34	5,08	12,95
15 y 34	3,28	1,83	2,31	3,10	4,73	11,98
16 y 35	3,34	1,86	2,33	3,11	4,44	12,00
17,22,36, 41	3,07	1,78	2,21	2,54	1,84	11,20
18 y 37	3,04	1,70	2,14	2,88	4,41	11,08
19 y 38	2,51	1,41	1,78	2,40	3,70	9,22
20 y 39	2,73	1,52	1,92	2,59	3,98	9,92
21 y 40	2,50	1,39	1,76	2,38	3,65	9,05
23 y 27	2,08	1,18	1,49	1,99	2,41	7,79
24 y 26	1,87	1,02	1,28	1,70	2,39	6,36
25	2,72	1,51	1,88	2,36	2,21	9,44
28 y 32	4,25	2,56	2,98	3,40	3,05	9,93
29 y 31	4,08	2,47	2,89	3,35	3,21	10,08
30	3,56	2,21	2,63	3,16	3,44	10,12

FS < 1	1 < FS < 2	FS > 2
--------	------------	--------

Tabla 5.6.3.3 Tabla de Factores de seguridad en todo el edificio con $F_d = 2,95 \text{ MPa}$

5.6.4 Arriostramientos

Los arriostramientos pueden ser una parte fundamental en la seguridad estructural de un edificio pues ayudan a transmitir cargas y a evitar los movimientos del muro al que arriostran. Según la normativa la existencia de muros perpendiculares, situados a poca distancia entre ellos, hace disminuir la altura de cálculo del muro.

Esta altura de cálculo del muro afecta directa y exclusivamente al pandeo inducido por las cargas en la parte central del muro. Es decir que a menor altura de cálculo del muro el pandeo de este también es menor y por tanto su capacidad portante aumenta en esa sección. A continuación se muestra un ejemplo sobre el muro 25 de planta primera para una resistencia de diseño de la fábrica de 1,80 MPa.

Muro 25			
Comprobación			
$NSd \leq NRd$	Coronación	Base	Centro
NRd	191809,6407	221667,021	173418,0477
NSd	182528,513	193194,9698	187861,7414
Verificación	Verificado	Verificado	No Verifica
Factor seguridad	1,05084755	1,147374703	0,9231153

Figura 5.6.4.1 Muro 25de planta primera y Fd 1,80 MPa sin arriostrar.

Muro 25 arriostrado			
Comprobación			
$NSd \leq NRd$	Coronación	Base	Centro
NRd	191809,6407	221667,021	203153,739
NSd	182528,513	193194,9698	187861,7414
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,05084755	1,147374703	1,081400276

Figura 5.6.4.2 Muro 25de planta primera y Fd 1,80 MPa arriostrado.

Capítulo 6. Conclusiones

6.1. Análisis de resultados

Del análisis de los resultados del apartado anterior se pueden extraer varias conclusiones sobre el estado del edificio y el sistema de cálculo utilizado. A continuación se enumeran y argumentan los análisis y conclusiones deducidos de los resultados arrojados por el análisis estructural.

- Los cálculos resistentes así como las cargas consideradas para los cálculos han sido calculados mediante los métodos del Código técnico de la edificación. Por otro lado las características de los materiales se han extraído de la norma italiana NTC DM 14-01-08 para construcciones existentes
- La normativa española CTE-DB-SE-F es un documento desarrollado para nuevas construcciones y por tanto no se adapta bien a algunas partes del cálculo necesario en construcciones antiguas. Las propiedades que nos recomienda son excesivos en materiales antiguos y estudios actuales efectuados sobre este tipo de obras nos hablan de resistencia en obra de fábrica de pieza maciza que sobrepasan fácilmente los 4 MPa.
- Para el cálculo de las resistencias de diseño de la fábrica es mucho más correcta la utilización de la normativa italiana NTC DM 14-01-08. Esta normativa nos permite seleccionar unas características mecánicas a la fábrica dependiendo del nivel de conocimiento que poseamos de ella.

- Los muros de fachada son con diferencia los más seguros de la estructura debido a su gran grosor. La menor carga soportada al no disponer de un forjado que descansa en uno de sus lados también ayuda a que sean elementos estructurales muy seguros. Así mismo el hecho de que solo un forjado descansa sobre el crea un momento mayor al no tener una carga que lo estabilice en el lado contrario del paño. Este momento es el causante de que la coronación del muro sea el punto más inseguro del elemento estructural, tal y como podemos ver en el ejemplo siguiente del muro 1, planta primera con $FD=1,8\text{MPa}$.

Muro 1 y 5			
Comprobación			
$NSd \leq NRd$	Coronación	Base	Centro
NRd	409677,8775	468741,3469	461830,2167
NSd	239101,38	261742,9985	250422,1892
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,713406579	1,79084579	1,844206451

- En los muros interiores se observa algo totalmente distinto a los muros de fachada o medianería. En estos elementos el momento aplicado por los forjados es relativamente pequeño y no supone un problema para la estructura. Sin embargo la carga adicional que soporta al disponer de más forjados descansando sobre el acrecienta mucho la compresión a la que está sometido. Este aumento de carga, sumado a la pequeña sección de que disponen todos los muros inferiores, los convierte en los elementos con más dificultades del edificio con diferencia. Esto se corrobora en las tablas de resultados del apartado anterior en las que se puede comprobar que todos los muros con menos FC son aquellos que tienen una profundidad de 150mm.
- Los muros interiores son los elementos más problemáticos del edificio tal y como se ha especificado en el párrafo anterior. Su parte más problemática es la parte central ya que el pandeo al que se somete el muro, debido a la gran carga vertical, crea una excentricidad muy grande que disminuye la capacidad portante de forma notable. La falta de arriostramientos bien ejecutados y con una distancia insuficientemente pequeña es la causa de este gran pandeo.

- Según las formulas aplicadas del CTE-DB-SE-F, se puede deducir que la rigidez de los forjados es una característica muy importante en la transmisión de los momentos a los muros sobre los que descansan. Se puede afirmar que una mayor rigidez en los forjados disminuye el momento. Uno de los factores que influye más en la rigidez es la inercia del forjado, por lo que aumentar esta inercia mejoraría el trabajo de la estructura.
- En los muros de la última planta, al no existir cargas de plantas superiores, los muros se ven sometidos a altas excentricidades causadas por el momento flector de los forjados que pueden hacer disminuir su capacidad portante de forma significativa. La normativa contempla esto y permite disminuir el momento flector debido al giro permitido en la coronación del muro al estar sometido a compresiones muy pequeñas. En los muros que cumplían las especificaciones y situados en la última planta de esta estructura se ha aplicado este reductor del momento.

6.2. Actuaciones recomendadas

En este apartado trataremos las posibles actuaciones que podrían llevarse a cabo en el edificio para mejorar su seguridad y algunos consejos para mejorar el rendimiento en edificios nuevos a diseñar.

- Los muros exteriores tienen limitada su capacidad resistente fundamentalmente por la excentricidad de la entrada en carga. Aumentando el espesor se puede mejorar poco el comportamiento de un muro exterior; porque, aunque de ese modo se consigue más capacidad para resistir el momento correspondiente, también es cierto que al aumentar su rigidez se aumenta la fracción de momento que le corresponde en el análisis de nudo. En estas situaciones es mucho más efectivo el procedimiento de intervenir en los parámetros que condicionan la rigidez de los forjados. Un aumento de la rigidez de los forjados hace que disminuya la excentricidad de la carga casi en la misma proporción.
- En los muros exteriores de obra nueva existe, además, una circunstancia que disminuye drásticamente su capacidad resistente. Esta circunstancia es el retranqueo que, habitualmente, existe en el apoyo de los forjados respecto de la cara exterior del muro. Debe tenerse en cuenta que el retranqueo disminuye la sección de respuesta, pero no disminuye la rigidez del muro; con lo cual resulta una sección más solicitada con menor capacidad resistente justo donde la necesita. Reducir el retranqueo de apoyo de los forjados mejora notablemente el comportamiento del muro.
- También se puede intervenir en las condiciones de coacción al movimiento, para conseguir reducir la esbeltez sin modificar el espesor. El procedimiento consiste en disminuir, dentro de lo posible, la separación entre muros de arriostramiento. No es necesario aumentar la cantidad ni el espesor de estos muros, basta con disponerlos a la menor distancia posible. En casos existentes como el nuestro, en el que no se puede intervenir en la distancia entre muros de arriostramiento, deberemos mejorar las vinculaciones entre los muros transversales y los muros de carga. Esto puede conseguirse mediante ángulos de acero que rigidicen la unión.

- En los muros interiores el factor más importante es el espesor ya que se ven sometidos a grandes compresiones por los forjados que descansan sobre ellos. Estos muros no sufren grandes momentos al tener forjados a ambos lados del paño. Si es posible se recomienda ampliar la anchura de estos muros para disminuir su compresión.
- En estos mismos muros interiores es donde el pandeo de la parte central del muro se hace más obvio. La mayor esbeltez, y la gran carga soportada, origina un pandeo que disminuye su capacidad portante. El pandeo puede ser contrarrestado con muros de arriostramiento, pero este sistema no siempre es posible debido a la necesidad de espacios abiertos en el edificio. En estos mismos muros interiores es donde el pandeo de la parte central del muro se hace más obvio. La mayor esbeltez, y la gran carga soportada, origina un pandeo que disminuye su capacidad portante. El pandeo puede ser contrarrestado con muros de arriostramiento, pero este sistema no siempre es posible debido a la necesidad de espacios abiertos en el edificio. Una posible solución en este caso es la instalación de perfiles metálicos, tejidos o láminas de polímeros reforzados con fibras (FRP) o bien la aplicación de enlucido reforzado con fibras naturales o poliméricas. Las soluciones mencionadas proporcionan resistencia adicional a flexión fuera del plano y por lo tanto pueden incrementar la seguridad a pandeo de los muros que se encuentran en condiciones críticas

6.3. Conclusión final.

El barrio del Eixample fue la solución a los problemas de densidad en la ciudad de Barcelona durante la primera mitad del siglo XIX. El diseño llevado a cabo por Ildefons Cerdà y construido entre 1860 y 1950 fue modificado por los posteriores arquitectos y constructores.

El ensanche se sitúa en la parte central de la ciudad y dispone de una superficie de 7,46 Km². Es el distrito más poblado de la ciudad con unos 260.000 habitantes, representando el 18% de la población de la ciudad. Este distrito posee la segunda mayor densidad de población de España.

El Ensanche está caracterizado por elegantes fachadas y chaflanes. Es la zona más representativa de la ciudad y una parte importante de la gran afluencia de turistas es debido a la arquitectura que se encuentra en este barrio.

En el ámbito estructural, casi el 70 % de los edificios del Ensanche tienen un sistema estructural que consta de muros de mampostería no reforzada. Los forjados son de cerámica con vigas de acero o madera. Estas estructuras fueron diseñadas mayoritariamente para soportar cargas verticales.

La planta baja posee unos muros de carga de más sección que por desgracia no superan la primera planta. La sección aplicada en las plantas superiores no satisface completamente las solicitaciones requeridas en las normativas actuales y requeriría en algunos casos una actuación sobre varios elementos estructurales del edificio.

Los diferentes resultados de este trabajo nos llevan a deducir que la capacidad portante FD de la obra de fábrica iguala o sobrepasa los 3 MPa. Esta afirmación se puede llevar a cabo tras ver que los cálculos efectuados con resistencias menores dan resultados de colapso en varios muros interiores.

Otro dato importante es la obiedad de que estos edificios siguen en pie y muchos de ellos tienen solicitaciones mayores debidos a cambios de uso como el de oficinas o zonas de trabajo.

Por último según Pere Benavent en su libro *Com hem de Construir* (1934) recomienda no superar una compresión de 30 Kg/cm² en la obra de fábrica.

Estos datos nos llevan a afirmar con seguridad que el cálculo llevado a cabo con una resistencia de diseño a compresión FD de 2,95MPa es la que más se acerca a la realidad de las características del edificio.

Basándonos en la hipótesis de que esta resistencia (2,95MPa) es la que posee aproximadamente la fábrica, podemos afirmar que el edificio en general suficientemente seguro para ser habitado sin riesgo.

Aun siendo seguro sería necesario aplicar reformas estructurales en los muros que, aun no cumpliendo la seguridad estrictamente, son mas problematicos estructuralmente. Estos muros serian en planta primera el muro 7 y 11 con factores de seguridad de 0,86 y 0,72 respectivamente y el muro 11 de planta segunda con un factor de seguridad de 0,92.

Los tres muros señalados son muros que cumplen la seguridad en coronación y pie pero no en la parte central. Esto es debido al pandeo producido por la gran carga y la pequeña sección de 150mm que los forma. Estos dos factores crean una gran excentricidad en la zona central del muro que lo hace problemático.

Es por tanto necesario aplicar medidas de corrección que eviten pandeos en estos muros. La construcción de nuevos elementos de arriostramiento, la aplicación de refuerzos en FRP o de enlucido reforzado en las caras exteriores de estos tres paños podrían ser suficientes para mejorar la seguridad.

En otros muros interiores del mismo tipo también debería llevarse a cabo esta mejora, ya que, aun siendo seguros, sería conveniente reforzarlos para evitar el pandeo.

Respecto a la normativa aplicada, concretamente el CTE, es una normativa de aplicación a nuevos diseños y por tanto muy exigente en las características físicas del material.

Este estudio se ha llevado a cabo con datos extraídos de estudios anteriores y de normativas relacionadas al problema analizado. No se han efectuado pruebas físicas ni visuales a las estructuras y materiales de un edificio tipo del Eixample.

Los resultados obtenidos del estudio están basados en la incertidumbre sobre las características del material y por tanto se encuentran muy del lado de la seguridad.

También es necesario considerar que las cargas son extraídas del CTE para nueva construcción. Unas cargas minoradas y ajustadas a edificaciones existentes serian más adecuadas para un cálculo más detallado.

En futuros estudios llevados a cabo sobre este tema sería apropiado hacer hincapié en los siguientes puntos:

- Obtener las características de los materiales mediante ensayos en laboratorio para poder trabajar con un número suficiente de datos en el cálculo de la resistencia de los muros.
- Ajustar las cargas aplicadas a la estructura considerando cargas más reducidas por ser una estructura existente.
- Calcular la estructura con las modificaciones recomendadas para poder evaluar su eficacia real.
- Hacer un cálculo del edificio sometido a cargas horizontales. Las paredes esbeltas, de limitado espesor y no eficazmente arriostradas podrían encontrarse en condiciones críticas en caso de sismos de moderada intensidad.

Como conclusión final se puede afirmar que los edificios de mampostería no reforzada el Eixample se han visto sometidos a mucho esfuerzo debido a las modificaciones desarrolladas en el tiempo y a su gran esbeltez en muros interiores. Pese a este mayor esfuerzo se puede concluir que las estructuras son seguras aunque habría que actuar en los paños más problemáticos para evitar posibles dificultades.

Capítulo 7. Bibliografía

Casademunt, A.P. (2009) Secrets D'Un Sistema Constructiu. L'Eixample, Edicions Universitat Politecnica de Catalunya SL, Barcelona, España.

Código Técnico de la Edificación. “Documento Básico – Seguridad Estructural - Fabrica” (2009).

Código Técnico de la Edificación. “Documento Básico – Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación” (2009).

EN 1991-1-1. Eurocode 6- Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures.

Enciclopedia del encargado de obras. Materiales de construcción. Editorial Planeta DeAgostini Profesional y Formación. (2001)

Gutierrez Alfonso, L., Gutierrez Díaz, J. (2010) Rehabilitacio i canvi d'us d'un edifici situat al Carrer Consell de Cent, 435, Barcelona. Final Architectural Report, Universitat Politecnica de Catalunya.

L. G. Pujades, A. H. Barbat, R. González-Drigo, J. Avila, S. Lagomarsino. (2012). Seismic performance of a block of buildings representative of the typical construction in the Eixample district in Barcelona. Bull Earthquake Eng (2012) 10:331–349 Springer Science+Business Media B.V.

Moreno R., Bonett R., Barbat A., Pujades L., Penna A., Lagomarsino S. (2003). “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras de mampostería no reforzada. Aplicación a un edificio de la zona del Eixample en Barcelona (España)”. Revista International de Ingeniería de estructuras, Vol. 8, N. 2, 91-120. Ecuador: Ed. Pamela Cruz

Norma Italiana (Circolare 2 Febbraio 2009 n.617). C8A (Appendice al cap. C8). C8A.1 Stima del livelli di conoscenza e dei fattori di confidenza.

Potter, C. (2011). “Seismic Analysis of a Typical Masonry Building from Barcelona's Eixample District”. Masters Thesis SAHC Programme (Advanced Masters in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions).

Anexo 1

1.1 Notación

Altura muro superior/inferior: Altura libre del muro situado por encima o debajo del forjado.

Ancho muro: Anchura del muro calculado.

Carga centro/pie/cabeza muro: Carga por peso propio del muro en cabeza, pie y parte central del muro.

Carga forjados: Carga del forjado que acomete al nudo y de los de plantas superiores.

Carga muerta: Cargas aplicadas en el forjado con hipótesis de elemento desfavorable a la estabilidad.

Carga total: Cargas aplicadas en el forjado con hipótesis de elemento favorable a la estabilidad.

e cabeza/central/inferior: Excentricidad del muro en la cabeza, sección central y sección inferior.

e: Excentricidad de la entrada de carga en el muro.

ea: Excentricidad por imperfecciones de ejecución.

Elast. Forjado: Modulo elástico del forjado.

Elast. Muro: Elasticidad del muro.

ep: Excentricidad por pandeo en punto medio del muro.

Esbeltez λ : Factor de esbeltez del muro analizado.

Excentricidad: Excentricidad de comparación para primera verificación de resistencia.

Fd: Resistencia de cálculo a compresión de la fabrica.

Inercia forjado calle/patio: Inercia del forjado situado en el lateral de calle o de fachada.

Inercia muro superior/inferior: Inercia del muro por encima o debajo del forjado.

Inercia vigueta: Inercia de la vigueta metálica del forjado.

K: Suma de las rigideces de los tramos de muros superior e inferior al nudo.

KT: Suma de rigideces de las piezas que concurren en el nudo analizado.

Longitud portante: Longitud del muro calculado que se considera portante.

Luz forjado calle/patio: Longitud de forjado libre situada en el lateral de calle o de fachada.

M cor: Momento flector en el muro tras la corrección para nudos en cabecera.

Momento central: Momento flector en el punto medio del muro.

Momento inferior: Momento flector al pie del muro.

Momento: Momento flector en el nudo.

n: Numero de elementos que confluyen en el nudo.

Nrd cabeza/central/inferior: Valor de cálculo de la capacidad resistente deducido de las propiedades del material.

NSd: Valor de cálculo de la sollicitación en el muro.

t: Ancho portante del muro.

Φ cabeza/central/inferior: Factor reductor de la capacidad resistente por excentricidad y esbeltez.

2. Cálculos con resistencia de la fábrica de 2,95 MPa

2.1 Muros de planta primera

Muro 1					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,10E+11	N/m2
Longitud portante	1,3	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	137049,2308	N
Carga pie muro	124693,7677	N	Carga cabeza muro	102052,1492	N
Carga centro muro	113372,9585				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,10E+11	N/m2	Ancho forjado	1,75	m
Luz forjado calle	4,8	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	16378888,89				
Momento	7221,002645	Nm	M cor	7221,002645	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,070757967	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	3610,501322	Nm	Momento central	1805,250661	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	671416,5215	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,758662736		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	768214,9852	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,868039531		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	756888,4108	N	t	0,3	m
Φ central	0,855241142		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,03620059		e(inferior)	0,01979407	
e(central)	0,021713829		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	671416,5215	768214,9852	756888,4108
NSd	239101,38	261742,9985	250422,1892
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,808083004	2,934997267	3,022449461

Muro 2					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,10E+11	N/m2
Longitud portante	2,55	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	0	N
Carga pie muro	125023,5	N	Carga cabeza muro	125023,5	N
Carga centro muro	113676,8294				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,10E+11	N/m2	Ancho forjado	3,75	m
Luz forjado calle	4,8	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	16378888,89				
Momento	7221,002645	Nm	M cor	7221,002645	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,057757163	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	3610,501322	Nm	Momento central	1805,250661	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	680568,909	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,769004417		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	772065,3532	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,87239023		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	758983,1338	N	t	0,3	m
Φ central	0,857608061		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,034649337		e(inferior)	0,034878581	
e(central)	0,021358791		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	680568,909	772065,3532	758983,1338
NSd	252047,8059	274741,1471	263394,4765
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,700158038	2,810155528	2,881545369

Muro 3					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,10E+11	N/m2
Longitud portante	1,5	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	0	N
Carga pie muro	137025,756	N	Carga cabeza muro	137025,756	N
Carga centro muro	124737,732				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,10E+11	N/m2	Ancho forjado	2,7	m
Luz forjado calle	4,8	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	5,4	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	9,45E+11				
Momento	0,125154378	Nm	M cor	0,125154378	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	9,13E-07	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	0,062577189	Nm	Momento central	0,031288595	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	849597,5029	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,959997178		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	849598,8472	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,959998697		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	799419,9006	N	t	0,3	m
Φ central	0,903299323		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,006000423		e(inferior)	0,006000457	
e(central)	0,014505102		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	849597,5029	849598,8472	799419,9006
NSd	295704,108	320280,156	307992,132
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,87313392	2,652674015	2,595585463

Muro 4					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,10E+11	N/m2
Longitud portante	2,55	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	0	N
Carga pie muro	125023,5	N	Carga cabeza muro	125023,5	N
Carga centro muro	113676,8294				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,10E+11	N/m2	Ancho forjado	3,75	m
Luz forjado calle	4,8	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	16378888,89				
Momento	7221,002645	Nm	M cor	7221,002645	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,057757163	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	3610,501322	Nm	Momento central	1805,250661	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	680568,909	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,769004417		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	772065,3532	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,87239023		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	758983,1338	N	t	0,3	m
Φ central	0,857608061		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,034649337		e(inferior)	0,034878581	
e(central)	0,021358791		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	680568,909	772065,3532	758983,1338
NSd	252047,8059	274741,1471	263394,4765
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,700158038	2,810155528	2,881545369

Muro 5					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,10E+11	N/m2
Longitud portante	1,3	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	137049,2308	N
Carga pie muro	124693,7677	N	Carga cabeza muro	102052,1492	N
Carga centro muro	113372,9585				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,10E+11	N/m2	Ancho forjado	1,75	m
Luz forjado calle	4,8	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	16378888,89				
Momento	7221,002645	Nm	M cor	7221,002645	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,070757967	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	3610,501322	Nm	Momento central	1805,250661	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	671416,5215	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,758662736		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	768214,9852	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,868039531		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	756888,4108	N	t	0,3	m
Φ central	0,855241142		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,03620059		e(inferior)	0,01979407	
e(central)	0,021713829		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	671416,5215	768214,9852	756888,4108
NSd	239101,38	261742,9985	250422,1892
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,808083004	2,934997267	3,022449461

Muro 6					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,10E+11	N/m2
Longitud portante	4,65	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4 y 3		Carga forjados	213103,4839	N
Carga pie muro	51853,06452	N	Carga cabeza muro	41482,45161	N
Carga centro muro	46667,75806				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,10E+11	N/m2	Ancho forjado	5,25	m
Luz forjado calle	3,875	m	Luz forjado patio	4,8	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0,0000428	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	15559562,72				
Momento	88,62884297	Nm	M cor	88,62884297	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,002136538	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	44,31442148	Nm	Momento central	22,15721074	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	405046,0367	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,915358275		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	406113,2152	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,917769978		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	306237,759	N	t	0,15	m
Φ central	0,692062732		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,006348129		e(inferior)	0,006167252	
e(central)	0,023095295		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	405046,0367	406113,2152	306237,759
NSd	254585,9355	264956,5484	259771,2419
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,590999267	1,532754022	1,178874754

Muro 7					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	2	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4 y 3		Carga forjados	302030,4	N
Carga pie muro	58582,44	N	Carga cabeza muro	46865,952	N
Carga centro muro	52724,196				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,10E+11	N/m2	Ancho forjado	3,2	m
Luz forjado calle	3,875	m	Luz forjado patio	4,8	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0,0000428	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	15559562,72				
Momento	88,62884297	Nm	M cor	88,62884297	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,001891114	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	44,31442148	Nm	Momento central	22,15721074	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	405601,2449	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,916612983		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	406374,9701	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,918361514		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	306372,4987	N	t	0,15	m
Φ central	0,692367229		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,006254026		e(inferior)	0,006122886	
e(central)	0,023072458		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	405601,2449	406374,9701	306372,4987
NSd	348896,352	360612,84	354754,596
Verificación	Verificado	Verificado	No Verifica
Factor seguridad	1,162526471	1,126901	0,863618124

Muro 8					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,10E+11	N/m2
Longitud portante	4,65	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4 y 3		Carga forjados	213103,4839	N
Carga pie muro	51853,06452	N	Carga cabeza muro	41482,45161	N
Carga centro muro	46667,75806				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,10E+11	N/m2	Ancho forjado	5,25	m
Luz forjado calle	3,875	m	Luz forjado patio	4,8	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0,0000428	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	15559562,72				
Momento	88,62884297	Nm	M cor	88,62884297	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,002136538	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	44,31442148	Nm	Momento central	22,15721074	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	405046,0367	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,915358275		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	406113,2152	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,917769978		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	306237,759	N	t	0,15	m
Φ central	0,692062732		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,006348129		e(inferior)	0,006167252	
e(central)	0,023095295		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	405046,0367	406113,2152	306237,759
NSd	254585,9355	264956,5484	259771,2419
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,590999267	1,532754022	1,178874754

Muro 9					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,2	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	0	N
Carga pie muro	182759,5	N	Carga cabeza muro	-100376,01	N
Carga centro muro	41191,745				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2,8	m
Luz forjado calle	3,875	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	10389046,59				
Momento	927,4215831	Nm	M cor	927,4215831	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	-0,009239474	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	463,7107915	Nm	Momento central	231,8553958	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	461612,8994	N	t	0,15	m
Φ cabeza	1,043192993		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	392130,0878	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,88616969		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	273531,753	N	t	0,15	m
Φ central	0,618150854		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	-0,003239474		e(inferior)	0,008537273	
e(central)	0,028638686		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	385399,3013	396813,1424	301460,4538
NSd	252147,98	265960,1	259054,04
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,528464758	1,492002531	1,163697172

Muro 10					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	0,8	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	188238,75	N
Carga pie muro	67869,9	N	Carga cabeza muro	54295,92	N
Carga centro muro	61082,91				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,8	m
Luz forjado calle	3,875	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	10389046,59				
Momento	927,4215831	Nm	M cor	927,4215831	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,017080871	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	463,7107915	Nm	Momento central	231,8553958	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	384539,154	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,869015037		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	396417,4492	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,895858642		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	301254,3253	N	t	0,15	m
Φ central	0,680800735		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,009823872		e(inferior)	0,007810602	
e(central)	0,023939945		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	384539,154	396417,4492	301254,3253
NSd	242534,67	256108,65	249321,66
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,585501792	1,547848732	1,208295843

Muro 11					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,2	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	314261,5	N
Carga pie muro	113860,6875	N	Carga cabeza muro	91088,55	N
Carga centro muro	102474,6188				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	4,5	m
Luz forjado calle	3,875	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	10389046,59				
Momento	927,4215831	Nm	M cor	927,4215831	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,010181539	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	463,7107915	Nm	Momento central	231,8553958	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	393601,0814	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,889493969		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	400709,5494	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,905558304		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	303458,4747	N	t	0,15	m
Φ central	0,685781864		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,008287952		e(inferior)	0,007083127	
e(central)	0,02356636		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	393601,0814	400709,5494	303458,4747
NSd	405350,05	428122,1875	416736,1188
Verificación	No Verifica	No Verifica	No Verifica
Factor seguridad	0,971015253	0,93597006	0,728178963

Muro 12					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	0,8	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	188238,75	N
Carga pie muro	67869,9	N	Carga cabeza muro	54295,92	N
Carga centro muro	61082,91				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,8	m
Luz forjado calle	3,875	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	10389046,59				
Momento	927,4215831	Nm	M cor	927,4215831	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,017080871	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	463,7107915	Nm	Momento central	231,8553958	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	384539,154	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,869015037		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	396417,4492	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,895858642		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	301254,3253	N	t	0,15	m
Φ central	0,680800735		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,009823872		e(inferior)	0,007810602	
e(central)	0,023939945		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	384539,154	396417,4492	301254,3253
NSd	242534,67	256108,65	249321,66
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,585501792	1,547848732	1,208295843

Muro 13					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,2	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	0	N
Carga pie muro	182759,5	N	Carga cabeza muro	-100376,01	N
Carga centro muro	41191,745				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2,8	m
Luz forjado calle	3,875	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	10389046,59				
Momento	927,4215831	Nm	M cor	927,4215831	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	-0,009239474	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	463,7107915	Nm	Momento central	231,8553958	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	461612,8994	N	t	0,15	m
Φ cabeza	1,043192993		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	392130,0878	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,88616969		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	273531,753	N	t	0,15	m
Φ central	0,618150854		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	-0,003239474		e(inferior)	0,008537273	
e(central)	0,028638686		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	385399,3013	396813,1424	301460,4538
NSd	252147,98	265960,1	259054,04
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,528464758	1,492002531	1,163697172

Muro 14					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	2,2	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	99687	N
Carga pie muro	54750,55091	N	Carga cabeza muro	43800,44073	N
Carga centro muro	49275,49582				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2,725	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,026759466	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	358905,8804	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,811086735		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	384711,4979	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,869404515		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	295135,3089	N	t	0,15	m
Φ central	0,666972449		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,014168495		e(inferior)	0,009794661	
e(central)	0,024977066		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	358905,8804	384711,4979	295135,3089
NSd	143487,4407	154437,5509	148962,4958
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,501305192	2,491048942	1,981272583

Muro 15					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	3,1	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	109197,2903	N
Carga pie muro	57873,78145	N	Carga cabeza muro	46299,02516	N
Carga centro muro	52086,40331				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	4,15	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,025315358	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	362627,8795	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,819498033		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	386404,4637	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,873230426		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	296021,9206	N	t	0,15	m
Φ central	0,668976092		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,013537648		e(inferior)	0,009507718	
e(central)	0,024826793		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	362627,8795	386404,4637	296021,9206
NSd	155496,3155	167071,0718	161283,6936
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,332067345	2,312814897	1,835411342

Muro 16					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,4	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00039375	m4	Inercia muro inferior	0,00039375	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	107868	N
Carga pie muro	54602,1	N	Carga cabeza muro	43681,68	N
Carga centro muro	49141,89				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,85	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1555555,555				
KT	8559191,919				
Momento	1555,701281	Nm	M cor	1555,701281	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,035614502	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	777,8506404	Nm	Momento central	388,9253202	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	346534,7942	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,783129478		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	378852,8408	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,856164612		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	292126,2557	N	t	0,15	m
Φ central	0,660172329		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,016265289		e(inferior)	0,010787654	
e(central)	0,025487075		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	346534,7942	378852,8408	292126,2557
NSd	151549,68	162470,1	157009,89
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,286608551	2,331831154	1,860559585

Muro 17					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	3,9	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	112141,0769	N
Carga pie muro	50009,4	N	Carga cabeza muro	40007,52	N
Carga centro muro	45008,46				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	3,975	m
Luz forjado calle	5,2	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	6296495,726				
Momento	2755,606835	Nm	M cor	2755,606835	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,068877222	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	1377,803418	Nm	Momento central	688,9017089	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	300243,4094	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,678516179		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	356967,3065	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,806705777		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	280876,9716	N	t	0,15	m
Φ central	0,634750218		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,024111287		e(inferior)	0,014497067	
e(central)	0,027393734		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	300243,4094	356967,3065	280876,9716
NSd	152148,5969	162150,4769	157149,5369
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,973356413	2,201457025	1,787322935

Muro 18					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	2,45	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	119988	N
Carga pie muro	60434,1	N	Carga cabeza muro	48347,28	N
Carga centro muro	54390,69				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	3,625	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,024242862	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	366019,7768	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,827163337		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	387935,9096	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,876691321		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	296826,8716	N	t	0,15	m
Φ central	0,67079519		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,01296275		e(inferior)	0,009248151	
e(central)	0,024690361		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	366019,7768	387935,9096	296826,8716
NSd	168335,28	180422,1	174378,69
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,174349767	2,150157379	1,702196935

Muro 19					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	0,7	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	145440	N
Carga pie muro	73228,05	N	Carga cabeza muro	58582,44	N
Carga centro muro	65905,245				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,25	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,020007299	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	373205,4398	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,843402124		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	391287,7886	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,884266189		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	298560,9592	N	t	0,15	m
Φ central	0,674714032		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,011744841		e(inferior)	0,008680036	
e(central)	0,024396448		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	373205,4398	391287,7886	298560,9592
NSd	204022,44	218668,05	211345,245
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,829237214	1,789414542	1,412669394

Muro 20					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,2	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	136097,5	N
Carga pie muro	65488,5	N	Carga cabeza muro	52390,8	N
Carga centro muro	58939,65				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,022371798	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	370412,0418	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,83708936		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	389947,8891	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,881238167		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	297876,9825	N	t	0,15	m
Φ central	0,673168322		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,012218298		e(inferior)	0,008907137	
e(central)	0,024512376		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	370412,0418	389947,8891	297876,9825
NSd	188488,3	201586	195037,15
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,965172596	1,934399656	1,527283302

Muro 21					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	151015,2	N
Carga pie muro	69745,2525	N	Carga cabeza muro	55796,202	N
Carga centro muro	62770,72725				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,85	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,021006384	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	373662,526	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,844435087		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	391437,6592	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,88460488		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	298654,3465	N	t	0,15	m
Φ central	0,674925077		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,011667368		e(inferior)	0,008654634	
e(central)	0,024380619		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	373662,526	391437,6592	298654,3465
NSd	206811,402	220760,4525	213785,9273
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,806779135	1,773133072	1,396978512

Muro 22					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	3,9	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	112141,0769	N
Carga pie muro	50009,4	N	Carga cabeza muro	40007,52	N
Carga centro muro	45008,46				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	3,975	m
Luz forjado calle	5,2	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	6296495,726				
Momento	2755,606835	Nm	M cor	2755,606835	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,068877222	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	1377,803418	Nm	Momento central	688,9017089	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	300243,4094	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,678516179		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	356967,3065	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,806705777		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	280876,9716	N	t	0,15	m
Φ central	0,634750218		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,024111287		e(inferior)	0,014497067	
e(central)	0,027393734		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	300243,4094	356967,3065	280876,9716
NSd	152148,5969	162150,4769	157149,5369
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,973356413	2,201457025	1,787322935

Muro 23					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,85	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	131845,9459	N
Carga pie muro	123961,5243	N	Carga cabeza muro	99169,21946	N
Carga centro muro	111565,3719				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2,2	m
Luz forjado calle	5,275	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	6222769,879				
Momento	2869,265036	Nm	M cor	2869,265036	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,02893302	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	1434,632518	Nm	Momento central	717,3162589	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	333820,5524	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,754396729		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	374011,3187	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,845223319		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	289354,1095	N	t	0,15	m
Φ central	0,653907592		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,018420245		e(inferior)	0,011608251	
e(central)	0,025956931		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	333820,5524	374011,3187	289354,1095
NSd	231015,1654	255807,4703	243411,3178
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,44501575	1,4620813	1,188745503

Muro 24					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	226947	N
Carga pie muro	64297,8	N	Carga cabeza muro	51438,24	N
Carga centro muro	57868,02				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2	m
Luz forjado calle	5,275	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	6222769,879				
Momento	2869,265036	Nm	M cor	2869,265036	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,055780778	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	1434,632518	Nm	Momento central	717,3162589	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	346289,7943	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,782575806		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	378037,3975	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,854321802		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	291881,6505	N	t	0,15	m
Φ central	0,659619549		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,016306815		e(inferior)	0,010925865	
e(central)	0,025528534		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	346289,7943	378037,3975	291881,6505
NSd	278385,24	291244,8	284815,02
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,243922969	1,298005655	1,024811299

Muro 25					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	4,3	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	139862,686	N
Carga pie muro	53332,28372	N	Carga cabeza muro	42665,82698	N
Carga centro muro	47999,05535				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	5,3	m
Luz forjado calle	5,275	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	6222769,879				
Momento	2869,265036	Nm	M cor	2869,265036	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,067249723	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	1434,632518	Nm	Momento central	717,3162589	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	314354,689	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,710406077		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	363287,6178	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,820988967		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	284212,9115	N	t	0,15	m
Φ central	0,642289066		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,021719544		e(inferior)	0,013425827	
e(central)	0,02682832		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	314354,689	363287,6178	284212,9115
NSd	182528,513	193194,9698	187861,7414
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,722222374	1,880419652	1,512883408

Muro 26					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	226947	N
Carga pie muro	64297,8	N	Carga cabeza muro	51438,24	N
Carga centro muro	57868,02				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2	m
Luz forjado calle	5,275	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	6222769,879				
Momento	2869,265036	Nm	M cor	2869,265036	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,055780778	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	1434,632518	Nm	Momento central	717,3162589	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	346289,7943	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,782575806		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	378037,3975	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,854321802		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	291881,6505	N	t	0,15	m
Φ central	0,659619549		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,016306815		e(inferior)	0,010925865	
e(central)	0,025528534		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	346289,7943	378037,3975	291881,6505
NSd	278385,24	291244,8	284815,02
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,243922969	1,298005655	1,024811299

Muro 27					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,85	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	131845,9459	N
Carga pie muro	123961,5243	N	Carga cabeza muro	99169,21946	N
Carga centro muro	111565,3719				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2,2	m
Luz forjado calle	5,275	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	6222769,879				
Momento	2869,265036	Nm	M cor	2869,265036	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,02893302	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	1434,632518	Nm	Momento central	717,3162589	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	333820,5524	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,754396729		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	374011,3187	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,845223319		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	289354,1095	N	t	0,15	m
Φ central	0,653907592		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,018420245		e(inferior)	0,011608251	
e(central)	0,025956931		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	333820,5524	374011,3187	289354,1095
NSd	231015,1654	255807,4703	243411,3178
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,44501575	1,4620813	1,188745503

Muro 28					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,3	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	148470	N
Carga pie muro	124693,7677	N	Carga cabeza muro	102052,1492	N
Carga centro muro	113372,9585				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,75	m
Luz forjado calle	5,2	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	15802735,04				
Momento	8783,627198	Nm	M cor	8783,627198	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,086069987	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	4391,813599	Nm	Momento central	2195,906799	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	642738,4485	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,726258134		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	754742,2506	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,852816102		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	749941,0326	N	t	0,3	m
Φ central	0,847390997		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,04106128		e(inferior)	0,022077585	
e(central)	0,02289135		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	642738,4485	754742,2506	749941,0326
NSd	250522,1492	273163,7677	261842,9585
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,5655953	2,762966176	2,864087074

Muro 29					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	2,55	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	162194,1176	N
Carga pie muro	125023,5	N	Carga cabeza muro	102330,1588	N
Carga centro muro	113676,8294				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	3,75	m
Luz forjado calle	5,2	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	15802735,04				
Momento	8783,627198	Nm	M cor	8783,627198	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,085836153	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	4391,813599	Nm	Momento central	2195,906799	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	653688,3009	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,738630848		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	759383,7366	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,858060719		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	752457,0548	N	t	0,3	m
Φ central	0,85023396		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,039205373		e(inferior)	0,021290892	
e(central)	0,022464906		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	653688,3009	759383,7366	752457,0548
NSd	264524,2765	287217,6176	275870,9471
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,471184534	2,643931604	2,727569042

Muro 30					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,5	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	198525,6	N
Carga pie muro	132834,492	N	Carga cabeza muro	108258,444	N
Carga centro muro	120546,468				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2,7	m
Luz forjado calle	5,2	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	15802735,04				
Momento	8783,627198	Nm	M cor	8783,627198	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,081135724	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	4391,813599	Nm	Momento central	2195,906799	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	680675,3069	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,769124641		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	771401,9887	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,871640665		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	758815,7232	N	t	0,3	m
Φ central	0,857418896		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,034631304		e(inferior)	0,0192539	
e(central)	0,021387166		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	680675,3069	771401,9887	758815,7232
NSd	306784,044	331360,092	319072,068
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,218744163	2,327987007	2,378195396

Muro 31					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	2,55	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	162194,1176	N
Carga pie muro	125023,5	N	Carga cabeza muro	102330,1588	N
Carga centro muro	113676,8294				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	3,75	m
Luz forjado calle	5,2	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio		m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	15802735,04				
Momento	8783,627198	Nm	M cor	8783,627198	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,085836153	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	4391,813599	Nm	Momento central	2195,906799	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	653688,3009	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,738630848		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	759383,7366	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,858060719		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	752457,0548	N	t	0,3	m
Φ central	0,85023396		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,039205373		e(inferior)	0,021290892	
e(central)	0,022464906		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	653688,3009	759383,7366	752457,0548
NSd	264524,2765	287217,6176	275870,9471
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,471184534	2,643931604	2,727569042

Muro 32					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,3	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,3	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00225	m4	Inercia muro inferior	0,00225	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	4		Carga forjados	148470	N
Carga pie muro	124693,7677	N	Carga cabeza muro	102052,1492	N
Carga centro muro	113372,9585				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,75	m
Luz forjado calle	5,2	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	8888888,887				
KT	15802735,04				
Momento	8783,627198	Nm	M cor	8783,627198	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,086069987	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,12	m
Momento inferior	4391,813599	Nm	Momento central	2195,906799	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	642738,4485	N	t	0,3	m
Φ cabeza	0,726258134		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	754742,2506	N	t	0,3	m
Φ inferior	0,852816102		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	749941,0326	N	t	0,3	m
Φ central	0,847390997		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,04106128		e(inferior)	0,022077585	
e(central)	0,02289135		ea	0,006	
Esbeltez λ	9	<27	ep(pandeo central)	0,008505	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	642738,4485	754742,2506	749941,0326
NSd	250522,1492	273163,7677	261842,9585
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,5655953	2,762966176	2,864087074

Muro 33					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	2,2	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	99687	N
Carga pie muro	54750,55091	N	Carga cabeza muro	43800,44073	N
Carga centro muro	49275,49582				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2,725	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,026759466	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	358905,8804	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,811086735		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	384711,4979	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,869404515		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	295135,3089	N	t	0,15	m
Φ central	0,666972449		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,014168495		e(inferior)	0,009794661	
e(central)	0,024977066		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	358905,8804	384711,4979	295135,3089
NSd	143487,4407	154437,5509	148962,4958
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,501305192	2,491048942	1,981272583

Muro 34					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	3,1	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	109197,2903	N
Carga pie muro	57873,78145	N	Carga cabeza muro	46299,02516	N
Carga centro muro	52086,40331				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	4,15	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,025315358	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	362627,8795	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,819498033		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	386404,4637	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,873230426		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	296021,9206	N	t	0,15	m
Φ central	0,668976092		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,013537648		e(inferior)	0,009507718	
e(central)	0,024826793		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	362627,8795	386404,4637	296021,9206
NSd	155496,3155	167071,0718	161283,6936
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,332067345	2,312814897	1,835411342

Muro 35					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,4	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00039375	m4	Inercia muro inferior	0,00039375	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	107868	N
Carga pie muro	54602,1	N	Carga cabeza muro	43681,68	N
Carga centro muro	49141,89				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,85	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1555555,555				
KT	8559191,919				
Momento	1555,701281	Nm	M cor	1555,701281	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,035614502	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	777,8506404	Nm	Momento central	388,9253202	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	346534,7942	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,783129478		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	378852,8408	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,856164612		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	292126,2557	N	t	0,15	m
Φ central	0,660172329		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,016265289		e(inferior)	0,010787654	
e(central)	0,025487075		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	346534,7942	378852,8408	292126,2557
NSd	151549,68	162470,1	157009,89
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,286608551	2,331831154	1,860559585

Muro 36					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	3,9	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	112141,0769	N
Carga pie muro	50009,4	N	Carga cabeza muro	40007,52	N
Carga centro muro	45008,46				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	3,975	m
Luz forjado calle	5,2	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	6296495,726				
Momento	2755,606835	Nm	M cor	2755,606835	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,068877222	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	1377,803418	Nm	Momento central	688,9017089	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	300243,4094	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,678516179		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	356967,3065	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,806705777		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	280876,9716	N	t	0,15	m
Φ central	0,634750218		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,024111287		e(inferior)	0,014497067	
e(central)	0,027393734		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	300243,4094	356967,3065	280876,9716
NSd	152148,5969	162150,4769	157149,5369
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,973356413	2,201457025	1,787322935

Muro 37					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	2,45	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	119988	N
Carga pie muro	60434,1	N	Carga cabeza muro	48347,28	N
Carga centro muro	54390,69				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	3,625	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,024242862	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	366019,7768	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,827163337		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	387935,9096	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,876691321		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	296826,8716	N	t	0,15	m
Φ central	0,67079519		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,01296275		e(inferior)	0,009248151	
e(central)	0,024690361		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	366019,7768	387935,9096	296826,8716
NSd	168335,28	180422,1	174378,69
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	2,174349767	2,150157379	1,702196935

Muro 38					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	0,7	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	145440	N
Carga pie muro	73228,05	N	Carga cabeza muro	58582,44	N
Carga centro muro	65905,245				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,25	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,020007299	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	373205,4398	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,843402124		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	391287,7886	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,884266189		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	298560,9592	N	t	0,15	m
Φ central	0,674714032		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,011744841		e(inferior)	0,008680036	
e(central)	0,024396448		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	373205,4398	391287,7886	298560,9592
NSd	204022,44	218668,05	211345,245
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,829237214	1,789414542	1,412669394

Muro 39					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1,2	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	136097,5	N
Carga pie muro	65488,5	N	Carga cabeza muro	52390,8	N
Carga centro muro	58939,65				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	2	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,022371798	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	370412,0418	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,83708936		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	389947,8891	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,881238167		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	297876,9825	N	t	0,15	m
Φ central	0,673168322		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,012218298		e(inferior)	0,008907137	
e(central)	0,024512376		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	370412,0418	389947,8891	297876,9825
NSd	188488,3	201586	195037,15
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,965172596	1,934399656	1,527283302

Muro 40					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	1	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	151015,2	N
Carga pie muro	69745,2525	N	Carga cabeza muro	55796,202	N
Carga centro muro	62770,72725				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	1,85	m
Luz forjado calle	3,85	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	8114747,474				
Momento	1172,076419	Nm	M cor	1172,076419	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,021006384	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	586,0382097	Nm	Momento central	293,0191049	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	373662,526	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,844435087		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	391437,6592	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,88460488		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	298654,3465	N	t	0,15	m
Φ central	0,674925077		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,011667368		e(inferior)	0,008654634	
e(central)	0,024380619		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	373662,526	391437,6592	298654,3465
NSd	206811,402	220760,4525	213785,9273
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,806779135	1,773133072	1,396978512

Muro 41					
Datos de muro					
Fd fabrica	2950000	N/m2	Inercia vigueta	0,0000214	m4
Ancho muro	0,15	m	E Forjado	2,1E+11	N/m2
Longitud portante	3,9	m	Elast. Muro	1333333333	N/m2
Inercia muro superior	0,00028125	m4	Inercia muro inferior	0,00028125	m4
Altura muro superior	2,7	m	Altura muro inferior	2,7	m
n	3		Carga forjados	112141,0769	N
Carga pie muro	50009,4	N	Carga cabeza muro	40007,52	N
Carga centro muro	45008,46				
Datos de forjados					
Elast. Forjado	2,1E+11	N/m2	Ancho forjado	3,975	m
Luz forjado calle	5,2	m	Luz forjado patio	0	m
Inercia forjado calle	0,0000428	m4	Inercia forjado patio	0	m4
Cálculos de momentos					
K	1111111,111				
KT	6296495,726				
Momento	2755,606835	Nm	M cor	2755,606835	Nm
Carga total	6930	N/m2	e	0,068877222	m
Carga muerta	3870	N/m2	Excentricidad	0,06	m
Momento inferior	1377,803418	Nm	Momento central	688,9017089	Nm
Capacidad portante					
Nrd cabeza	300243,4094	N	t	0,15	m
Φ cabeza	0,678516179		Fd	2950000	N/m2
Nrd inferior	356967,3065	N	t	0,15	m
Φ inferior	0,806705777		Fd	2950000	N/m2
Nrd central	280876,9716	N	t	0,15	m
Φ central	0,634750218		Fd	2950000	N/m2
e(cabeza)	0,024111287		e(inferior)	0,014497067	
e(central)	0,027393734		ea	0,006	
Esbeltez λ	18	<27	ep(pandeo central)	0,01701	

Comprobación			
NSd≤NRd	Coronación	Base	Centro
NRd	300243,4094	356967,3065	280876,9716
NSd	152148,5969	162150,4769	157149,5369
Verificación	Verificado	Verificado	Verificado
Factor seguridad	1,973356413	2,201457025	1,787322935